

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNİK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2022 | broj 37

Univerzitet u Nišu
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET



ZBORNİK
RADOVA
GRAĐEVINSKO-
ARHITEKTONSKOG
FAKULTETA

Niš | 2022 | broj 37

**Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta
Broj 37/2022.**

www.gaf.ni.ac.rs/nip/zbornik/
zbornikGAF@gaf.ni.ac.rs
+381 18 588 200

Izdavač

Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija
www.gaf.ni.ac.rs

Za izdavača

dr Slaviša Trajković, redovni profesor, dekan Građevinsko-arhitektonskog
fakulteta Univerziteta u Nišu

Glavni i odgovorni urednik

dr Miomir Vasov, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Univerziteta u Nišu

Urednici

dr Vuk Milošević, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Darija Gajić, vanredni profesor, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet
Univerziteta u Banjoj Luci
dr Milorad Jovanovski, redovni profesor, Građevinski fakultet Univerziteta Sveti
Ćirilo i Metodije u Skoplju

Lektor za engleski jezik

Goran Stevanović, diplomirani filolog-anglista

Saradnik za UDK i CIP

Ana Mitrović, diplomirani filolog za knjizevnost i srpski jezik, diplomirani
bibliotekar

Dizajn naslovne strane

dr Vladan Nikolić, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet
Univerziteta u Nišu

Radovi su recenzirani, ali svu odgovornost za tačnost, originalnost, kvalitet i
obezbeđivanje autorskih prava prikazanih i korišćenih dela i podataka
preuzimaju autori.

ISSN 1452-2845

UDK 624

Učestalost objavljivanja: jednom godišnje

Tiraž: 100

Štampa

Grafika Galeb Niš

UVODNA REČ

Poštovani čitaoci, treba istaći da je prvi broj Zbornika radova Građevinskog fakulteta izdat 1980. godine. U međuvremenu je, zajedno sa nazivom fakulteta, promjenjen i naziv časopisa, i on danas glasi Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Niš. U 2022. godini objavljuje se 37. broj časopisa i time nastavlja tradicija ove značajne serijske publikacije. Prema planu uredništva sledeća godina će predstavljati prekretnicu u razvoju časopisa, jer će po prvi put biti objavljeni radovi na engleskom jeziku.

Časopis, kao i do sada, objavljuje radove koji pripadaju tehničko-tehnološkom naučnom polju i usko su vezani za naučne oblasti građevinarstva i arhitekture. Uže naučne oblasti radova uključuju, ali nisu ograničene na sledeće: betonske konstrukcije, metalne i drvene konstrukcije, građevinski materijali i tehnologija betona, hidrotehnika, saobraćajnice, organizacija i tehnologija građenja, građevinska geotehnika, geodezija, nacrtna geometrija u arhitekturi i građevinarstvu, arhitektonsko projektovanje, projektovanje arhitektonskih konstrukcija, urbanizam i prostorno planiranje, tehnička mehanika i teorija konstrukcija.

Radovi poslani za objavljivanje u časopisu Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta se nakon preliminarnе procene uredništva šalju na recenziju kod najmanje dva recenzenta, pri čemu recenzenti ne znaju identitet autora, niti autori znaju identitet recenzenata. Svi recenzenti su u nastavnom odnosno naučnom zvanju, imaju doktorat nauka i više od polovine recenzenata potiče izvan Građevinsko-arhitektonskog fakulteta. Lista recenzenata objavljena je na kraju časopisa, nakon uputstva za formatiranje radova.

Na kraju, kako je to već običaj, pozivamo sve autore koji se bave naučno-istraživačkim radom da i u buduće daju svoj doprinos redovnom izlaženju Zbornika. Danas, kada je časopis više nego ikada otvoren za istraživanja iz okruženja, i od narednog broja kada će biti otvoren i za istraživače sa drugih govornih područja, ovaj poziv je posebno upućen mladim kolegicama i kolegama, sa nadom da će im služiti kao akcelerator u razvoju i diseminaciji istraživanja.

Glavni i odgovorni urednik,
Prof. dr Miomir Vasov, dipl. inž. arh.

Dekan,
Prof. dr Slaviša Trajković, dipl. inž. građ.

SADRŽAJ

<i>Andrija Zorić, Marina Trajković-Milenković, Marina Mijalković, Dragan Zlatkov</i> ANALIZA UTICAJA DUŽINE ŠTAPA OD ČELIČNOG L PROFILA NA KRITIČNU SILU IZVIJANJA	1
<i>Ana Stanojević, Ljiljana Jevremović, Branko Turnšek</i> TERASASTE VINARIJE - SAVREMENI MODEL VINSKE ARHITEKTURE	13
<i>Borko Radivojević, Dragan Radivojević, Aleksandra Ilić</i> UTICAJ HIDRAULIČKOG OBLIKOVANJA KORITA REKE NIŠAVE U NIŠU NA REŽIM PRONOSA I ISTALOŽAVANJA NANOSA	25
<i>Magdalena Slavković, Ljiljana Vasilevska</i> ZNAČAJ KONCEPTA KOMPAKT GRADA U KREIRANJU ODRŽIVE URBANE SREDINE	37
<i>Nenad Stojković, Nemanja Marković, Jelena Bijeljić, Milan Protić</i> MODELIRANJE TEMELJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE ELEKTROFILTERSKOG POSTROJENJA TERMOELEKTRANE U OBILIĆU	49
<i>Uroš Antić, Marko Nikolić, Aleksandar Milojković, Ljiljana Jevremović</i> BRISANJE GRANICA IZMEĐU INDUSTRIJSKOG I JAVNOG PROSTORA – SAVREMENE TEŽNJE U PROJEKTOVANJU ENERGETSKIH ZGRADA	59
<i>Slobodan Ranković, Nenad Ristić, Žarko Petrović, Todor Vacev</i> DIJAGNOSTIKA STANJA AB KONSTRUKCIJE ISPITIVANJEM NA UTICAJE PROBNOG OPTEREĆENJA - STUDIJA SLUČAJA	71
<i>Nikola Đokić, Borislava Blagojević, Slaviša Trajković</i> OCENA PROSEČNIH GODIŠNJIH PROTOKA U BUDUĆIM KLIMATSKIM USLOVIMA – STUDIJA SLUČAJA U SLIVU JUŽNE MORAVE	80
<i>Vojislav Nikolić, Nemanja Randelović, Slaviša Kondić, Milan Tanić, Katarina Medar, Mirko Stanimirović</i> NOVA ZGRADA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU – PRIKAZ URBANISTIČKO-ARHITEKTONSKOG IDEJNOG REŠENJA.....	92
<i>Katarina Nakov, Aleksandra Ilić, Dragan Milićević, Slaviša Trajković, Milan Gocić</i> VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA U BAČKOJ TOPOLI.....	104
<i>Uputstvo za formatiranje rada.....</i>	116
Lista recenzenata časopisa Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta za broj 37/2022.	121

primljen: 16.01.2023.

UDK : 620.173/177.6

korigovan: 08.02.2023.

izvorni naučni rad

691.714:62-41

prihvaćen: 28.02.2023.

ANALIZA UTICAJA DUŽINE ŠTAPA OD ČELIČNOG L PROFILA NA KRITIČNU SILU IZVIJANJA

Andrija Zorić¹
Marina Trajković-Milenković²
Marina Mijalković³
Dragan Zlatkov⁴

Rezime

U radu je prikazan analitički postupak određivanja kritičnog opterećenja čeličnih limova u elastičnoj oblasti materijala. Uticaj dužine čeličnih štapova na kritičnu silu se analizira na primeru štapa od čeličnog profila L90x90x4. Variranjem dužine štapa i analizom elastične stabilnosti štapa, odnosno limova od kojih je sastavljen, definiše se vrednost dužine štapa koja predstavlja granicu između oblasti u kojoj je merodavno izvijanje štapa kao celine i oblasti u kojoj je merodavno izbočavanje limova štapa. Analize su sprovedene primenom analitičkih rešenja, a njihova validacija je sprovedena na osnovu rezultata numeričke analize metodom konačnih elemenata.

Ključne reči: *elastična stabilnost, kritična sila izvijanja, čelični štap, metod konačnih elemenata*

ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE LENGTH OF STEEL L PROFILE BAR ON THE BUCKLING LOAD

Abstract

The analytical procedure for determining the elastic buckling load of steel plates is presented in the paper. The influence of the length of steel bars on the buckling load is analysed on the example of a steel bar made of profile L90x90x4. By analysing the elastic stability of the bar, i.e. the plates from which it is composed, for different bar length, the value of the bar length which represents the border between the area where the bar buckling occurs and the area where the buckling of bar plates occurs is defined. The analyzes are done using analytical solutions and they are validated based on the results of the numerical analysis obtained by the use of the finite element method.

Key words: *Elastic Stability, Buckling Load, Steel Bar, Finite Element Method*

¹ Dr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, andrija.zoric@gaf.ni.ac.rs

² Dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, marina@gaf.ni.ac.rs

³ Dr, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, marina.mijalkovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ Dr, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu, dragan.zlatkov@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Čelik, kao jedan od najzastupljenijih materijala u građevinskim konstrukcijama, ima izuzetne karakteristike u pogledu nosivosti, pa se veliki rasponi i visine konstruktivnih sistema mogu savladati relativno malim poprečnim presecima nosača. Međutim, to dovodi do potencijalne opasnosti da dođe do pojave nestabilnosti nosača. Pored gubitka stabilnosti nosača usled izvijanja, može nastupiti i gubitak stabilnosti pojedinih njegovih delova, odnosno izbočavanja limova profila. Zbog toga su savremena istraživanja u ovoj oblasti usmerena ka razvijanju različitih modela za opisivanje stabilnosti čeličnih nosača [1-3], kao i ka analizi uticaja lokalizovanog opterećenja na naponsko-deformacijsko stanje čeličnih nosača [4].

Prilikom izvijanja nosača i izbočavanja limova dolazi do povećanja ugiba (pomeranja) usled dejstva normalnih sila. Ovaj fenomen se ne može obuhvatiti Teorijom prvog reda u kojoj se uvode pretpostavke o materijalnoj, geometrijskoj i statičkoj linearnosti. Pretpostavka o statičkoj linearnosti za posledicu ima uspostavljanje uslova ravnoteže na nedeformisanoj konfiguraciji, pa normalne sile nemaju uticaja na momente savijanja i veličinu ugiba. U Teoriji drugog reda se ne uvodi pretpostavka o statičkoj linearnosti, dok su pretpostavke o materijalnoj i geometrijskog linearnosti zadržane. Zbog toga je Teorija drugog reda osnova za proučavanje fenomena izvijanja nosača i izbočavanja limova.

Kriterijum stabilnosti konstruktivnih elemenata podrazumeva da usled malog povećanja opterećenja ne dođe do naglog povećanja pomeranja. Ukoliko se to dogodi, stabilna ravnotežna forma postaje nestabilna. Na novoj deformisanoj konfiguraciji moguće je uspostavljanje nove ravnotežne forme. Međutim, od praktičnog je značaja sračunati najmanje, takozvano kritično opterećenje, pri kome stabilna ravnotežna forma postaje nestabilna. Kritično opterećenje se može definisati preko statičkog kriterijuma kao najmanje opterećenje konstrukcije pri kome pored prvobitnog (osnovnog) ravnotežnog položaja postoji ma i jedan drugi ravnotežni položaj konstrukcije [5-7].

U radu će biti prikazano formiranje diferencijalne jednačine elastične površi tankih ploča koja se koristi za određivanje kritičnog opterećenja koje dovodi do izbočavanja. Na primeru štapa od čeličnog profila L90x90x4, analizira se odnos dužine štapa i krutosti pojedinih limova poprečnog preseka štapa u cilju utvrđivanja da li je merodavna kritična sila izvijanja štapa kako celine ili je merodavna kritična sila izbočavanja limova.

2. IZBOČAVANJE TANKIH PLOČA

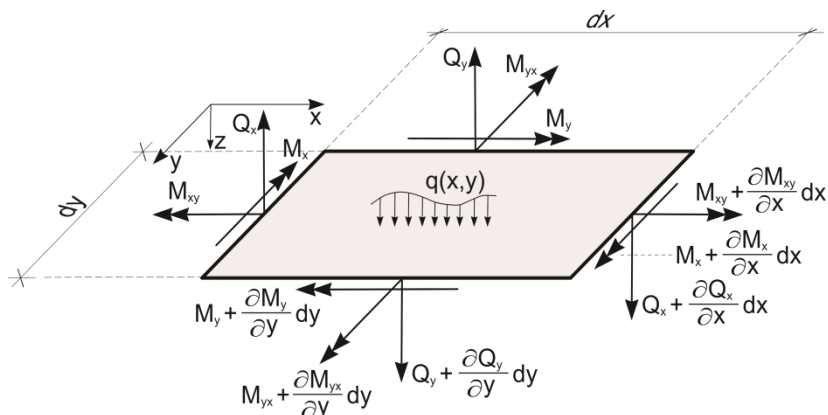
Analizira se tanka ploča izložena dejstvu opterećenja upravno na ravan ploče i u ravni ploče. Da bi se proučavao problem izbočavanja potrebno je uvesti pretpostavku da naponi usled opterećenja u ravni ploče nisu mali i da se mora uzeti u obzir njihov uticaj na savijanje ploče [8-10].

Kao posledica savijanja ploče debljine h poprečnim opterećenjem javljaju se naponi σ_x , σ_y , τ_{xy} , τ_{yz} i τ_{zx} . Sile u presecima (Slika 1), definisane preko komponentnih napona, prikazane su jednačinama:

$$Q_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xz} dz, \quad Q_y = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yz} dz, \quad (1)$$

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz, \quad M_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz, \quad (2)$$

$$M_{xy} = - \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz, \quad M_{yx} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{yx} z dz. \quad (3)$$



Slika 1. Diferencijalni element ploče opterećene na savijanje sa silama u presecima

Na osnovu uslova ravnoteže diferencijalno malog elementa ploče opterećene raspodeljenim opterećenjem upravim na srednju ravan (Slika 1), dobijaju se sledeći izrazi:

$$\sum Z = 0 \Rightarrow \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx dy + \frac{\partial Q_y}{\partial y} dx dy + q dx dy = 0, \quad (4)$$

$$\sum M_x = 0 \Rightarrow \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} dx dy - \frac{\partial M_y}{\partial y} dx dy + Q_y dx dy = 0, \quad (5)$$

$$\sum M_y = 0 \Rightarrow \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} dx dy + \frac{\partial M_x}{\partial x} dx dy - Q_x dx dy = 0. \quad (6)$$

Kod izvođenja jednačina ravnoteže zanemareni su moment od opterećenja i momenti od priraštaja transverzalnih sila, kao male veličine višeg reda.

Koristeći jednačine (5) i (6) za definisanje transverzalnih sila i zamenjujući ih u jednačinu (4), dobija se izraz:

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_{yx}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} = -q. \quad (7)$$

Iz osnovnog stava analize napona sledi da je $\tau_{yx} = \tau_{xy}$, pa je i $M_{yx} = -M_{xy}$. Sa ovom relacijom izraz (7) je:

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q. \quad (8)$$

Uz zanemarivanje uticaja transverzalnih sila Q_x i Q_y na krivine ploče, veze između ugiba ploče i momenata savijanja i momenta torzije su:

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \quad M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \quad (9)$$

$$M_{xy} = -M_{yx} = D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad (10)$$

pri čemu D predstavlja krutost ploče na savijanje i zavisi od Jangovog (Young) modula elastičnosti E, debljine ploče h i Poasonovog (Poisson) koeficijenta ν :

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}. \quad (11)$$

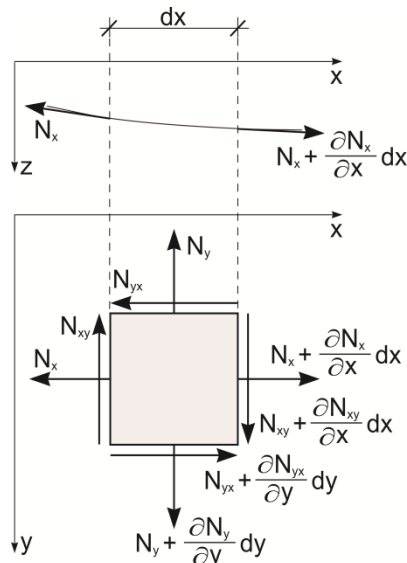
Smenom relacija (9) i (10) u jednačinu (8) izvodi se diferencijalna jednačina elastične površi ploče opterećene raspodeljenim opterećenjem upravnim na srednju ravan ploče:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}. \quad (12)$$

U analizi stabilnosti tankih ploča uticaj sila u ravni ploče na savijanje nije zanemarljiv [9, 10]. Na osnovu uslova ravnoteže diferencijalno malog elementa ploče opterećene silama u ravni ploče (Slika 2), dobijaju se sledeći izrazi:

$$\sum X = 0 \Rightarrow \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} = 0, \quad (13)$$

$$\sum Y = 0 \Rightarrow \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} = 0. \quad (14)$$



Slika 2. Diferencijalni element ploče opterećene silama u svojoj ravni

Uslovi ravnoteže (13) i (14) su potpuno nezavisni od tri jednačine ravnoteže ploče opterećene na savijanje poprečnim opterećenjem, (4), (5) i (6), i mogu se odvojeno razmatrati.

Projekcije normalnih sila N_x i N_y na z osu (Slika 2), uzimajući u obzir ugib ploče i zanemarujući male veličine višeg reda, su:

$$N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx dy + \frac{\partial N_x}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} dx dy, \quad (15)$$

$$N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} dx dy + \frac{\partial N_y}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} dx dy. \quad (16)$$

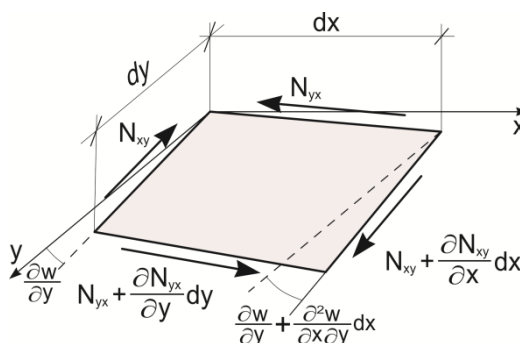
Projekcije transversalnih sila N_{xy} i N_{yx} na z osu, posmatrajući deformaciju diferencijalnog elementa srednje ravni ploče (Slika 3), su:

$$N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} dx dy + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} dx dy, \quad (17)$$

$$N_{yx} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} dx dy + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial x} dx dy, \quad (18)$$

pa je, uzimajući u obzir da je $N_{xy} = N_{yx}$, ukupna projekcija svih transversalnih sila na z osu:

$$2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} dx dy + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} dx dy + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial x} dx dy. \quad (19)$$



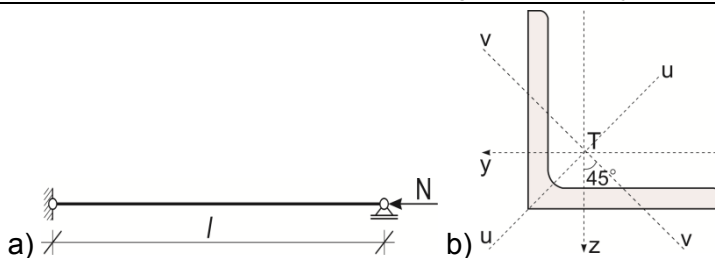
Slika 3. Deformacija diferencijalnog elementa srednje ravni ploče

Dodajući izraze (15), (16) i (19) opterećenju q uz primenu jednačina (13) i (14), umesto jednačine (12) izvodi se diferencijalna jednačina elastične površi ploče opterećene na savijanje i u svojoj ravni:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{1}{D} \left(q + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right). \quad (20)$$

3. ANALIZA STABILNOSTI ČELIČNOG ŠTAPA L PROFILA

Analizira se kritično opterećenje koje dovodi do gubitka stabilnosti štapa čeličnog L profila (Slika 4). Štap je obostrano zgloбно vezan. Do gubitka stabilnosti štapa može doći usled izvijanja štapa ili usled izbočavanja limova (krakova) L profila, a što zavisi od dužine štapa i veličine poprečnog preseka štapa.



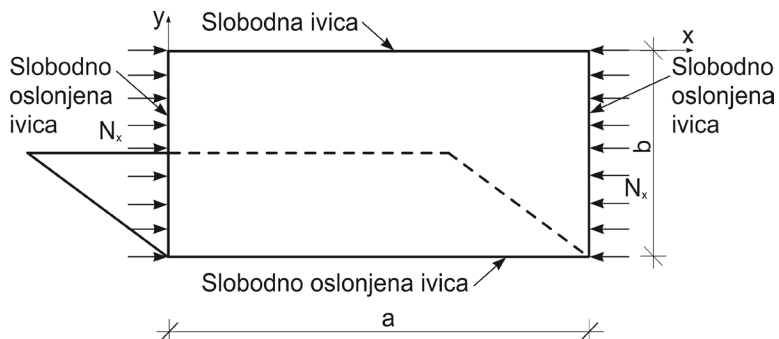
Slika 4. Statički sistem i poprečni presek analiziranog štapa

Analizirani statički sistem pripada Ojlerovim (Euler) slučajevima izvijanja, a kritična sila izvijanja štapa, odnosno kritični napon izvijanja [5, 6, 9], su definisani sledećim izrazima:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{l_o^2}, \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{l_o^2 A}. \quad (21)$$

U jednačini (21) l_o je slobodna dužina izvijanja štapa, koja je za slučaj obostrano zgloбно vezanog štapa jednaka sistemskoj dužini štapa, I_{min} je minimalni aksijalni moment inercije poprečnog preseka (I_v), a A je površina poprečnog preseka štapa.

Jedan krak poprečnog preseka predstavlja tanku ploču. U statičkom smislu, ona je slobodno oslonjena duž ivica upravno na pravac opterećenja, a paralelno pravcu opterećenja duž jedne ivice je slobodna, dok je duž druge pridržana drugim krakom poprečnog preseka, što se može tretirati kao slobodno oslanjanje s obzirom da krak nema dovoljnu torzionu krutost kako bi sprečio obrtanje (Slika 5).



Slika 5. Statički sistem kraka poprečnog preseka

Polazeći od diferencijalne jednačine (20), imajući u vidu da je opterećenje samo u pravcu x ose, dolazi se do diferencijalne jednačine elastične površi za analizirani slučaj:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (22)$$

Diferencijalna jednačina (22) se može rešiti direktnim metodom. Pretpostavljajući da se pod dejstvom sile pritiska ploča izbočava u m sinusnih polutalasa [9], usvaja se rešenje diferencijalne jednačine u obliku:

$$w = f(y) \sin \frac{m\pi x}{a}. \quad (23)$$

U jednačini (23) $f(y)$ je funkcija samo po promenljivoj y . Pretpostavljeni oblik rešenja diferencijalne jednačine zadovoljava konturne uslove duž slobodno oslonjenih ivica $x = 0$ i $x = a$.

Rešenje diferencijalne jednačine (23) trebalo bi da zadovolji jednačinu (22) i iz tog uslova se određuje funkcija $f(y)$:

$$f^{IV} - \frac{2m^2\pi^2}{a^2} f'' + \left(\frac{m^4\pi^4}{a^4} - \frac{N_x}{D} \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right) f = 0. \quad (24)$$

Obična diferencijalna jednačina (24) se rešava pomoću karakteristične jednačine:

$$r^{IV} - \frac{2m^2\pi^2}{a^2} r'' + \left(\frac{m^4\pi^4}{a^4} - \frac{N_x}{D} \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right) r = 0. \quad (25)$$

Imajući u vidu da je uvek zadovoljena relacija $N_x/D > m^2\pi^2/a^2$ i uvodeći oznake:

$$\alpha = \sqrt{\frac{m^2\pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{N_x}{D} \frac{m^2\pi^2}{a^2}}}, \quad \beta = \sqrt{-\frac{m^2\pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{N_x}{D} \frac{m^2\pi^2}{a^2}}}, \quad (26)$$

rešenje jednačine (24) može se predstaviti u obliku:

$$f(y) = C_1 e^{-\alpha y} + C_2 e^{\alpha y} + C_3 \cos(\beta y) + C_4 \sin(\beta y). \quad (27)$$

Integracione konstante u rešenju se određuju iz konturnih uslova duž ivica $y = 0$ i $y = b$. Ivica $y = 0$ je slobodno oslonjena, a ivica $y = b$ je slobodna, pa su konturni uslovi:

$$w = 0, \quad M(y) = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \quad \text{za } y = 0, \quad (28)$$

$$M(y) = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \quad Q(y) = \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y}, \quad \text{za } y = b. \quad (29)$$

Konturni uslovi (28) će biti zadovoljeni za vrednosti konstanti $C_1 = -C_2$ i $C_3 = 0$. Smenom ovih konstanti u (27) dobija se:

$$f(y) = A \sinh \alpha y + B \sin \beta y. \quad (30)$$

U jednačini (30) A i B su nove konstante. Iz konturnih uslova (29) uz funkciju (30) dolazi se do sistema homogenih algebarskih jednačina:

$$\begin{aligned} A \left(\alpha^2 - \nu \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right) \sinh \alpha b - B \left(\beta^2 + \nu \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right) \sin \beta b &= 0, \\ A \alpha \left[\alpha^2 - (2 - \nu) \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right] \cosh \alpha b - B \beta \left[\beta^2 + (2 - \nu) \frac{m^2\pi^2}{a^2} \right] \cos \beta b &= 0. \end{aligned} \quad (31)$$

Sistem jednačina (31) je zadovoljen ako je $A = B = 0$. Za te vrednosti konstanti, ugib svake tačke ploče je nula i to je ravan ravnotežni oblik ploče. Izbočen oblik ploče je moguć ako jednačine imaju rešenje za $A \neq 0$ i $B \neq 0$, što podrazumeva da

je determinanta sistema jednačina jednaka nuli. Iz uslova da je determinanta sistema jednačina jednaka nuli dolazi se do jednačine:

$$\beta \left(\alpha^2 - v \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \right)^2 \operatorname{tgh} \alpha b = \alpha \left(\beta^2 + v \frac{m^2 \pi^2}{a^2} \right)^2 \operatorname{tg} \beta b. \quad (32)$$

Jednačina (32) se može iskoristiti za sračunavanje kritične vrednosti opterećenja, usled kojeg dolazi do izbočavanja ploče, imajući u vidu da α i β sadrže N_x . Najmanja vrednost N_x se dobija kada je $m = 1$, odnosno ploča se izbočava u jedan polutalas. Veličina kritičnog napona, odnosno sile, može se predstaviti izrazom:

$$(\sigma_x)_{cr} = \frac{(N_x)_{cr}}{h} = k \frac{\pi^2 D}{b^2 h} = k \frac{\pi^2 E h^2}{12 b^2 (1 - \nu^2)}. \quad (33)$$

U jednačini (33) k je koeficijent koji zavisi od odnosa dužina ivica ploče a/b , a koji se određuje na osnovu jednačine (32). Za dugačke ploče može se pretpostaviti sa dovoljnom tačnošću da je:

$$k = \left(0.456 + \frac{b^2}{a^2} \right). \quad (34)$$

Ukoliko je usvojen poprečni presek štapa, onda dužina štapa direktno utiče na to da li će biti merodavna kritična sila izvijanja štapa kao celine ili kritična sila izbočavanja kraka L profila kao tanke ploče. Granična dužina štapa za koju se dobija ista kritična sila izvijanja za štap i za krak, dobija se iz uslova da je kritičan napon sračunat prema Ojlerovom obrascu (21) jednak kritičnom naponu izbočavanja kraka profila (33):

$$\frac{\pi^2 E I_{\min}}{l_0^2 A} = \left(0.456 + \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{\pi^2 E h^2}{12 b^2 (1 - \nu^2)}. \quad (35)$$

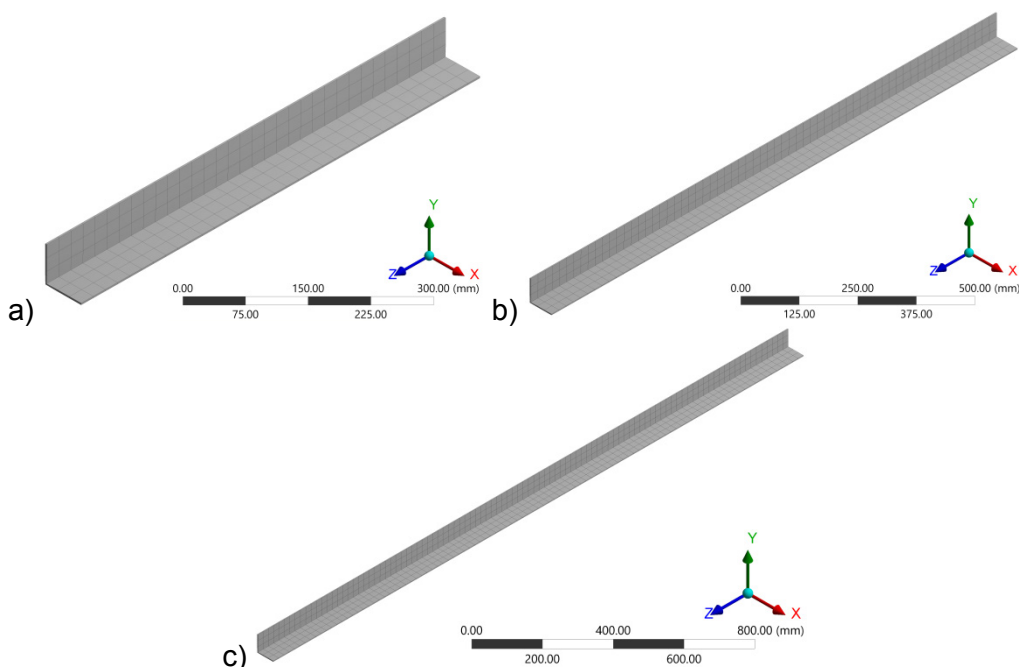
4. NUMERIČKI PRIMER ANALIZE STABILNOSTI ČELIČNOG ŠTAPA L PROFILA

Izloženi analitički postupak za analizu elastične stabilnosti štapa od čeličnog L profila biće primenjen na štap čeličnog profila L90x90x4. Geometrijske karakteristike poprečnog preseka su: $A = 704 \text{ mm}^2$, $I_{\min} = 228330,4849 \text{ mm}^4$. Modul elastičnosti čelika je $E = 210 \text{ GPa}$, a Poasonov koeficijent je $\nu = 0,30$. Primenom izraza (35) dobija se granična vrednost dužine štapa $l = 1934,48 \text{ mm} = 1,934 \text{ m}$. U slučaju da je dužina štapa manja od granične vrednosti merodavna je kritična sila izbočavanja kraka profila kao tanke ploče, odnosno nastupiće izbočavanje kraka profila pre izvijanja štapa kao celine. Suprotno, u slučaju da je dužina štapa veća od granične vrednosti nastupa izvijanje štapa kao celine, pa je merodavna kritična sila sračunata Ojlerovom formulom. U Tabeli 1 prikazana je uporedna analiza kritičnih sila izvijanja za tri dužine štapa.

Tabela 1. Usporedna analiza kritičnih sila izvijanja štapa za različite dužine štapa

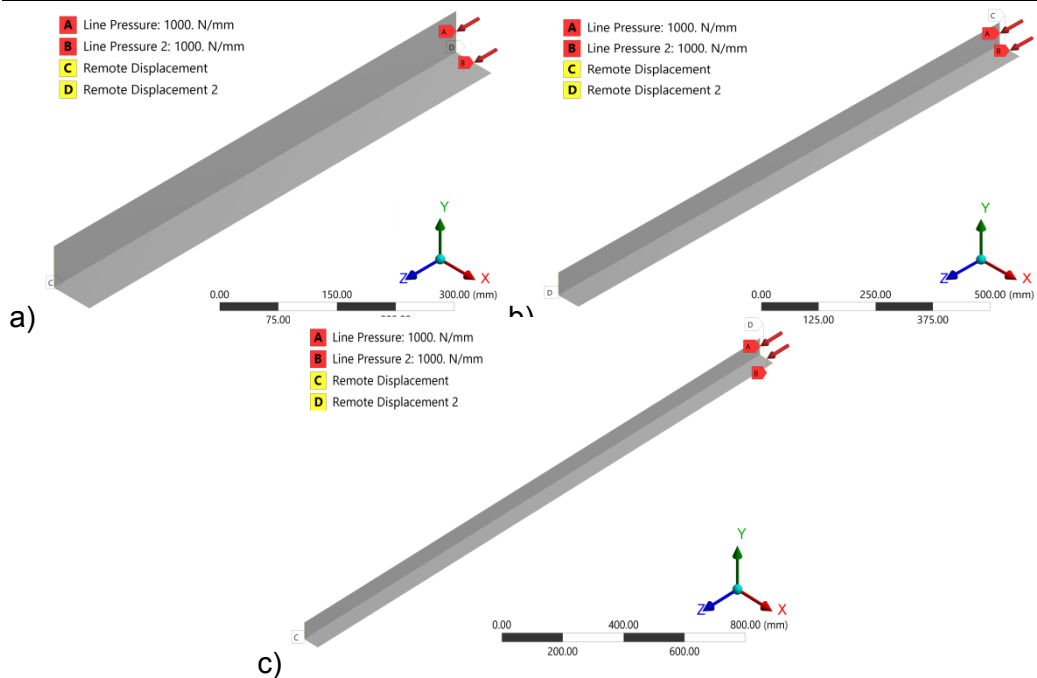
Dužina štapa	Kritična sila izvijanja štapa [kN]	Kritična sila izbočavanja kraka [kN]	Oblik izvijanja
$l = 1,000$ m	473,24	128,03	Izbočava se krak profila kao tanka ploča
$l = 1,934$ m	126,46	126,46	Istovremeno izbočavanje kraka profila i izvijanje štapa kao celine
$l = 3,000$ m	52,58	126,13	Štap se izvija kao celina

Za verifikaciju rezultata i usvojenih analitičkih rešenja za kritičnu silu izvijanja koriste se numerički MKE modeli u softverskom paketu ANSYS Workbench. Štap je modeliran dvema idealno kruto vezanim ravnim pločama, koje predstavljaju krakove L profila. Model je omrežen konačnim elementima SHELL181, koji imaju četiri čvora sa po šest stepeni slobode u svakom čvoru, tri translatorna i tri rotaciona stepena slobode [11]. Veličina konačnih elemenata je 30 mm. Na Slici 6 su prikazane mreže konačnih elemenata za sva tri analizirana slučaja dužine štapova.



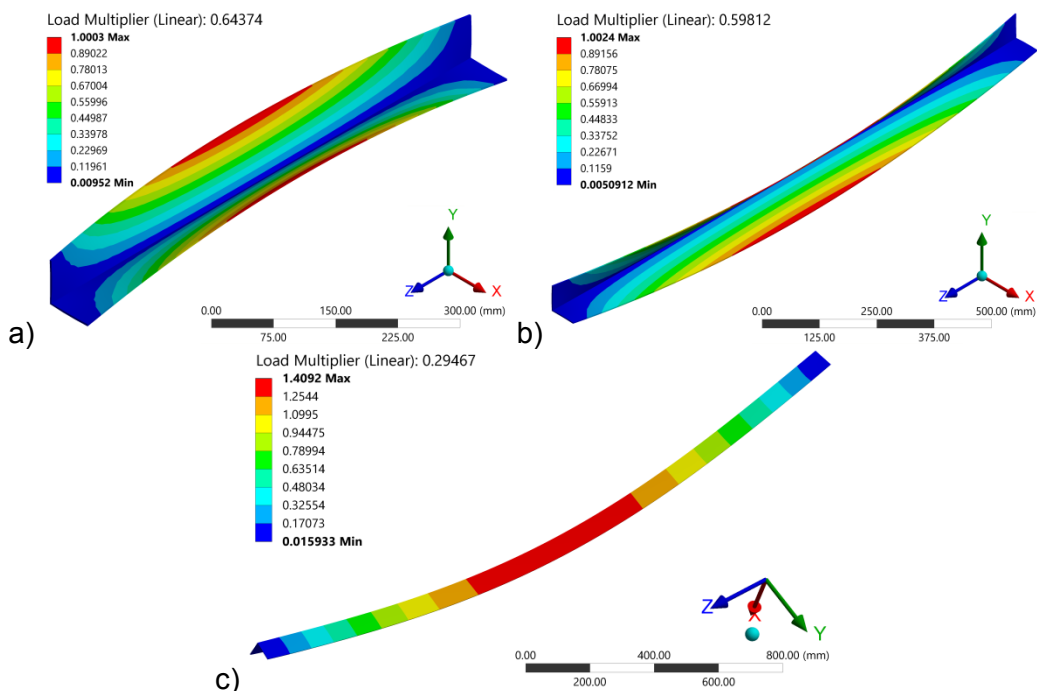
Slika 6. Mreža konačnih elemenata: a) Dužina štapa 1,000 m, b) Dužina štapa 1,934 m, c) Dužina štapa 3,000 m

Na jednom kraju štapa duž ivica poprečnog preseka sprečena su translatorna pomeranja u sva tri ortogonalna pravca, dok su rotacije dozvoljene, čime je modeliran nepokretan oslonac. Na suprotnom kraju su sprečena translatorna pomeranja u dva pravca, dok je pomeranje u pravcu ose štapa slobodno zbog unosa opterećenja i dozvoljene su rotacije oko sve tri ose. Nosač je opterećen duž ivica poprečnog preseka raspodeljenim pritiskom intenziteta 1000 N/mm (Slika 7).



Slika 7. Statički sistem: a) Dužina štapa 1,000 m, b) Dužina štapa 1,934 m, c) Dužina štapa 3,000 m

Nakon sprovedene analize elastične stabilnosti dobijeni su faktori kritičnih opterećenja i oblici izvijanja za sva tri slučaja dužine štapa (Slika 8).



Slika 8. Faktor kritičnog opterećenja i oblik izvijanja štapa: a) Dužina štapa $l = 1,000m$, b) Dužina štapa 1,934 m, c) Dužina štapa 3,000 m

Za štap dužine $l = 1,000$ m kritično opterećenje je $0,64374 \cdot 1000 = 643,74$ N/mm, odnosno predstavljeno kao koncentrisana sila 113,30 kN. Gubitak stabilnosti nastupa usled gubitka stabilnosti krakova profila kao tankih ploča. Za štap dužine $l = 1,934$ m kritično opterećenje je $0,59812 \cdot 1000 = 598,12$ N/mm, odnosno 105,27 kN. Do gubitka stabilnosti dolazi usled gubitka stabilnosti krakova profila kao tankih ploča. Za štap dužine $l = 3,000$ m kritično opterećenje je $0,29467 \cdot 1000 = 294,67$ N/mm, odnosno 51,86 kN, pri čemu je gubitak stabilnosti prouzrokovan izvijanjem štapa.

Uporedna analiza rezultata analitičkog i numeričkog proračuna određivanja kritične sile izvijanja analiziranih slučajeva prikazana je u Tabeli 2. Trebalo bi napomenuti da su nešto veća odstupanja rezultata u slučajevima dužina štapova $l = 1,000$ m i $l = 1,934$ m. U ovim slučajevima numeričkom analizom se dobija da gubitak stabilnosti nastaje usled izbočavanja krakova L profila. Imajući u vidu da je u analitičkom modelu zanemarena torziona krutost kraka L profila, kao i da su u numeričkim modelima uvedena pojednostavljena geometrije aproksimiranjem štapa sa dve ravne ploče, može se smatrati da su razlike analitičkih i numeričkih rezultata u granicama zadovoljavajućih. Shodno tome, usvojeni analitički model za sračunavanje kritične sile izvijanja je validiran i dovoljno pouzdan za primenu u inženjerskoj praksi.

Tabela 2. Uporedna analiza kritičnih sila izvijanja štapa sračunatih analitičkim i numeričkim postupkom

Dužina štapa	Kritična sila izvijanja [kN]		Razlika [%]
	Analitički	Numerički	
$l = 1,000$ m	128,03	113,30	13,00
$l = 1,934$ m	126,46	105,27	20,13
$l = 3,000$ m	52,58	51,86	1,39

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog u radu, mogu se formulisati sledeći zaključci:

- Gubitak stabilnosti čeličnog štapa nastupa usled izvijanja štapa kao celine ili usled gubitka stabilnosti pojedinih njegovih delova, odnosno usled izbočavanja limova.
- Kod štapova od čeličnog profila L90x90x4 granična dužina štapa je 1,934 m. U slučaju da je dužina štapa manja od granične vrednosti merodavna je kritična sila izbočavanja kraka profila kao tanke ploče. Suprotno, u slučaju da je dužina štapa veća od granične vrednosti nastupa izvijanje štapa kao celine.
- Delovi čeličnih profila mogu se tretirati kao tanke ploče sa odgovarajućim graničnim uslovima po konturama. Na osnovu tako usvojenog statičkog modela, primenom teorije elastične stabilnosti, mogu se odrediti kritične sile izbočavanja limova sa dovoljnom tačnošću za primenu u inženjerskoj praksi, imajući u vidu zadovoljavajuće slaganje analitičkih i numeričkih rezultata analiza sprovedenih u ovom istraživanju.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansiranju naučnoistraživačkog rada Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

LITERATURA

- [1] Bešević Miroslav, Kukaras Danijel: **Experimental – Theoretical Study of Axially Compressed Cold Formed Steel Profiles**. *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering*, Vol. 9, No. 3, 367-378, 2011.
- [2] Gardner Leroy, Fieber Andreas, Macorini Lorenzo: **Formulae for Calculating Elastic Local Buckling Stresses of Full Structural Cross-sections**. *Structures*, Vol. 17, 2-20, 2019.
- [3] Filipović Aljoša, Dobrić Jelena, Marković Zlatko, Baddoo Nancy, Flajs Željko: **Buckling resistance of stainless steel angle column**. *Građevinar*, Vol. 71, 547-558, 2019.
- [4] Turnić Dragana, Živković Srđan, Spasojević Šurdilović Marija, Milošević Marko, Igić Aleksandra: **Influence of Geometrical and Structural Imperfections on the Behavior of Steel Plate Girders**. *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering*, Vol. 19, No. 2, 171-182, 2021.
- [5] Đurić Milan: **Stabilnost i dinamika konstrukcija**. *Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu*, Beograd, 1980.
- [6] Zdravković Slavko: **Statika i stabilnost konstrukcija**. *AGM knjiga, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerzitet u Nišu*, Beograd, 2013.
- [7] Čaušević Mehmed, Bulić Mladen: **Stabilnost konstrukcija**. *Golden marketing – Tehnička knjiga*, Zagreb, 2013.
- [8] Hajdin Nikola: **Teorija površinskih nosača**. *Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, Naučna knjiga*, Beograd, 1989.
- [9] Timošenko Stephen, Gere James: **Theory of Elastic Stability**. *McGraw-Hill Book Company*, Singapore, 1985.
- [10] Ventsel Eduard, Krauthammer Theodor: **Thin Plates and Shells: Theory, Analysis, and Applications**. *Marcel Dekker Inc*, New York, 2001.
- [11] **Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications**. *Ansys Inc., Canonsburg, PA*, 2009.

primljen: 16.01.2023.

korigovan: 14.02.2023.

prihvaćen: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 725.42:663.21

663.283

TERASASTE VINARIJE - SAVREMENI MODEL VINSKE ARHITEKTURE

Ana Stanojević¹
Ljiljana Jevremović²
Branko Turnšek³

Rezime

Poslednjih godina projektuje se sve veći broj vinarija čiji se arhitektonski sklop prilagođava reljefu terena, formiranjem terasaste strukture, integrisane sa okolnim pejzažom. Rad istražuje specifične karakteristike terasastih vinarija analizirajući ih sa aspekta urbanističkog rešenja, dispozicije sadržaja unutar sklopa, arhitektonske forme i materijalizacije. Cilj rada je utvrđivanje zajedničkih principa funkcionalne prostorne organizacije i oblikovanja kojima se u procesu arhitektonskog projektovanja determinišu konceptualni model terasastih vinarija. Sprovedeno istraživanje zasniva se na komparativnoj analizi tri odabrana primera izgrađenih vinarija sa prostora Evrope. Rezultati istraživanja pokazuju da terasaste vinarije karakterišu optimalno korišćenje benefita konfiguracije terena za minimiziranje energetske potrošnje u procesu proizvodnje vina, integrisanje arhitektonske kompozicije u prirodno okruženje, i fenomenologija podsticaja doživljaja vinskog ambijenta kod posetilaca.

Ključne reči: terasaste vinarije, vinska arhitektura, komparativna analiza, teren

TERRACED WINERIES - CONTEMPORARY MODEL OF WINE ARCHITECTURE

Abstract

In recent years, an increasing number of wineries have been designed, forming a terraced structure integrated with the surrounding landscape. The form and materialization of terraced wineries contribute to creating unique wine landscapes. The paper aims to determine the principles of functional spatial organization and form creation that determine the conceptual model of terraced wineries in the design process. It examines the specific characteristics of terraced wineries, analyzing them from urban planning, contents disposition, form, and materialization. The research relies on a comparative analysis of three selected wineries from Europe. The conducted results show that terraced wineries are characterized by the optimal use of terrain configuration benefits to minimize energy consumption in the production process, the integration of the architectural composition into the natural environment, and the phenomenology of encouraging visitors to experience the wine ambience.

Key words: Terraced Wineries, Wine Architecture, Comparative Analysis, Terrain

¹ Doktorand, istraživač-saradnik, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, ana.stanojevic@gaf.ni.ac.rs

² Doktor nauka, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, ljiljana.jevremovic@gaf.ni.ac.rs

³ Doktor nauka, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, branko.turnsek@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Vinarije predstavljaju jednu od specifičnih tipologija industrijske arhitekture, razvijenu evoluiranjem uporedo sa ekonomskim, društvenim i tehnološkim promenama vezanim za vinarstvo i kulturu konzumiranja vina. Premda su dugo kroz istoriju građene u formi vinskih podruma, kao deo kompleksa ili kao individualni objekti, vinarije su danas složena postrojenja u kojima se proces proizvodnje odvija uz podršku instalacija i uređaja. U XXI veku transformisanje vinarija iz primarno proizvodnih pogona u javne objekte od kulturnog i turističkog značaja, uslovalo je afirmisanje koncepta vinske arhitekture na globalnom nivou [1].

Savremene vinarije su izložene različitim potrebama društva - od potražnje tržišta i modernih standarda u proizvodnji do preferencija ljubitelja vina. One integrišu vinsku kulturu, industrijsku proizvodnju, nove tehnologije, vinsko nasleđe i turizam, te je metodologija njihovog projektovanja kompleksan proces kojim treba odgovoriti na veći broj zahteva.

S obzirom da je za preradu grožđa u vino i njegovog sazrevanja do dostizanja odgovarajućeg kvaliteta, potrebno omogućiti izvesne mikroklimatske uslove, u procesu projektovanja vinarija važan uticajni faktor je teren [2]. Teren i njegove karakteristike u izvesnoj meri definišu način gradnje i arhitekturu vinarija [3]. Konfiguracija terena utiče na određivanje spratnosti objekta i odnosa njegovog primarnog volumena prema okruženju. Poslednjih godina projektuje se sve veći broj poluukopanih vinarija čiji se arhitektonski sklop prilagođava reljefu terena, formiranjem terasaste strukture integrisane sa okolnim pejzažom.

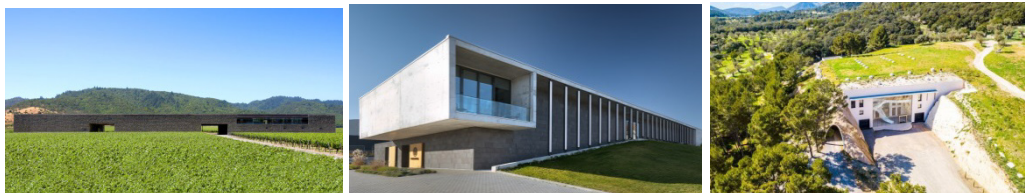
Terasaste vinarije su se specifičnim karakteristikama izdvojile kao zaseban model savremene vinske arhitekture. Rad istražuje karakteristike terasastih vinarija u kontekstu njihovog urbanističkog rešenja, rešenja funkcionalnog plana, forme i materijalizacije. Cilj istraživanja je da se na osnovu komparativne analize odabranih vinarija utvrdi da li postoje zajednički principi prostorne organizacije objekata i kreiranja arhitektonskog izraza, kojima se u konceptualnoj fazi procesa projektovanja definiše model terasastih vinarija.

2. TIPOLOGIJA VINARIJA PREMA NAČINU GRADNJE

Prema načinu gradnje vinarije mogu biti nadzemne, poluukopane i ukopane (Slika 1) [3,4]. Na način gradnje uticaj imaju karakteristike terena, položaj pristupnih puteva, karakter okruženja, zahtevi tehnološke šeme proizvodnje, investicione mogućnosti, i projektantske vizije. Nagib terena i tok tehnološkog procesa proizvodnje uslovljavaju odgovarajuću dispoziciju sadržaja proizvodnje po etažama [2], što se odražava na koncipiranje arhitektonske kompozicije. Kod najvećeg broja vinarija prostori namenjeni sazrevanju vina pozicioniraju se ispod nivoa zemlje. Na taj način prirodna temperatura tla se maksimalno koristi radi održavanja konstantnih mikroklimatskih uslova tokom cele godine [5].

Nadzemne vinarije grade se na relativno ravnom terenu (Slika 1, levo). Prostori sazrevanja, kojima je potrebna najniža temperatura i najmanji stepen osvetljenja, po pravilu su se ranije postavljali u središnji deo funkcionalnog plana [4]. Primenom inovativnih materijala i pametnih energetskih sistema danas se uspešno prevazilaze razlike u tehnološkim zahtevima različitim faza procesa proizvodnje. Ovakav tip vinarija često je orijentisan samo ka proizvodnoj delatnosti.

Za održavanje potrebnih mikroklimatskih uslova neophodna je podrška veštačkih sistema za klimatizaciju i ventilaciju, posebno u letnjim mesecima, što povećava troškove izgradnje i održavanja objekata [6]. Kod višetažnih objekata usled nemogućnosti korišćenja prirodne gravitacije, transport sirovina i poluproizvoda odvija se sistemima cevi i primenom platformi [2].



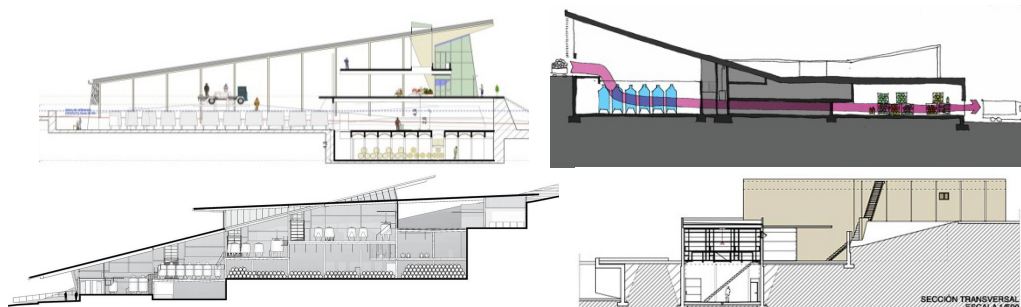
Slika 1. Tipovi vinarija: levo - nadzemna vinarija „Dominus“ (SAD); u sredini - vinarija „Dragomir“ (Bugarska); desno - ukopana vinarija „Can Axartell“ (Španija) (Izvori: <https://mmdusa.net/portfolio/dominus-estate/vineyard>; <https://dragomir.bg/en/our-story/>; <https://morgan-morgan.co.uk/2021/09/21/its-wine-oclock/>)

Potpunim ugrađivanjem arhitektonske strukture u tlo formiraju se ukopane (podzemne) vinarije. Podzemne vinarije predstavljaju najstariji tip objekata za skladištenje i čuvanje vina, i prvobitno su se javljale u formi vinskih pećina [1]. Savremena istraživanja prepoznaju tri pojavne forme ukopanih vinarija [7]: vinske podrume kao deo kompleksa i objekata drugih namena (hotela, muzeja, manastira, zamkova itd.), objekte građene u sistemu mreže podzemnih tunela, i objekte građene korišćenjem padine terena i prekrivanjem izgrađene strukture zemljom (zelenilom) (Slika 2). Prednost ukopanih vinarija je u održavanju konstantnih mikroklimatskih uslova u prostorima za sazrevanje, uz minimalnu upotrebu veštačkih tehničkih sistema. Ukopavanjem vinskih podruma moguće je održati vlažnost vazduha iznad 90% tokom cele godine [8].



Slika 2. Tipovi ukopanih vinarija: levo - vinski podrum „Pronay Kastely“ u Mađarskoj; u sredini - podzemni tuneli vinarije „Palmaz“ u SAD; desno - vinarija „Fritz“ u SAD prekrivena zelenilom (<https://www.pronaykastely.hu/hu/helyszineink>; <https://palmazvineyards.com/the-winery>; <https://www.fritzwinery.com/Visit>)

Poluukopane vinarije grade se na terenima različitih konfiguracija. Tokom projektovanja teži se maksimalnom korišćenju prirodne sile gravitacije za sprovođenje proizvodnje [9]. Kod relativno ravnog terena, prostorije namenjene sazrevanju vina smeštaju se ispod nivoa tla, dok su ostali sadržaji nadzemni (Slika 3, gore levo). Slobodnim padom transport sirovina i poluproizvoda odvija se samo u prvim fazama proizvodnje [10]. Kod terena u padu sadržaji se nižu tako da je prijem grožđa na najvišem nivou, a distribucija vina na najnižem (Slika 3, gore desno) [3]. Kada je nagib terena veliki, transport se proteže sa višeg na niži nivo, sopstvenom težinom od početka do kraja tehnološkog procesa (Slika 3, dole levo) [4]. U slučajevima kada se proizvodne faze nižu kaskadno kroz veći broj etaža, prateći nagib tla, dolazi do formiranja terasastih vinarija (Slika 3, dole desno).



Slika 3. Poluukopane vinarije kod terena različitih konfiguracija: gore levo-„El Nogalar“; gore desno-„La Grajera“; dole levo-„Martin’s Lane“; dole desno-„Terra Remota“ (Izvori: <https://arquitecturapanamericana.com/bodega-el-nogalar/>; <https://sn.rs/97hv2>; <https://www.martinslanewinery.com/#people>; <https://sn.rs/s12pm>)

3. METODOLOGIJA

Zbog specifičnosti tehnološkog procesa proizvodnje vina, čijem toku odgovara transport sirovina i poluproizvoda zasnovan na upotrebi gravitacije (sa viših na niže nivoe), terasaste vinarije se u praksi prepoznaju kao dobar model savremene vinske arhitekture. U cilju ispitivanja karakteristika terasastih vinarija, kao odabrane studije slučaja ⁴, sprovedeće se komparativna analiza izvedenih objekata.

Širom sveta tokom XXI veka sagrađen je izvestan broj objekata koji pripadaju tipu terasastih vinarija („Terra Remota“, „Bodega Contador“, „Bodega Qumran“ u Španiji, „Franz Keller“ u Nemačkoj, „Bodega Garzon“ u Urugvaju, „Adega Chocapalha“ i „Quinta do Napolos“ u Portugaliji, „Agricola Casanova di Neri“ i „Antinori“ u Italiji, itd.). Za potrebe ovog istraživanja, uzimajući u obzir dostupnost projektne dokumentacije, odabrane su tri terasaste vinarije kao predmet dublje kvalitativne analize, i to na osnovu sledećih kriterijuma:

- Vinarije su sagrađene na ruralnom prostoru Evrope;
- Vinarije su sagrađene u poslednjih 15 godina;
- Vinarije su sagrađene u tri različite vinske regije, koje karakteriše duga istorija negovanja vinske kulture i zaštite vinskog nasleđa;
- Vinarije su orijentisane ka posetiocima, pa pored proizvodnje obuhvataju i širok spektar javnih sadržaja;
- Vinarije su građene u blok sistemu - sadržaji namenjeni proizvodnji i posetiocima smešteni su u okviru jedne arhitektonske celine.

Odabrani primeri biće analizirani sa aspekta urbanističkog rešenja, funkcionalnog rešenja, arhitektonske forme i materijalizacije. U procesu analize korišćeni su podaci prikupljeni iz stručne literature, projektne dokumentacije, informacija sa interneta i prateće fotodokumentacije. Kvalitativnom analizom projektne dokumentacije sagledaće se odnos izgrađene strukture u odnosu na okruženje, prepoznaće se karakter i broj pristupa do objekata, raspored sadržaja namenjenih proizvodnji i posetiocima, primena materijala i arhitektonski izraz. Osnovni cilj primenjene metodologije teži utvrđivanju zajedničkih projektantskih principa funkcionalne prostorne organizacije i oblikovanja terasastih vinarija.

⁴ Sprovedeno istraživanje predstavlja deo doktorske disertacije kandidata Ane Stanojević „Vizija, kontekst i percepcija - arhitektura savremenih vinarija između konceptualizacije i realizacije“.

4. STUDIJA SLUČAJA TERASASTIH VINARIJA - ANALIZA ODABRANIH OBJEKATA

Ovi poglavljem obuhvaćena je analiza tri izvedena objekta koji pripadaju modelu terasastih vinarija: vinarije „Contador“ (Španija), vinarije „Antinori“ (Italija), i vinarije „Franz Keller“ (Nemačka). Osnovne informacije o vinarijama date su Tabelom 1.

Tabela 1. Osnovne informacije o odabranim primerima terasastih vinarija

Naziv vinarije	Lokacija	Godina izgradnje	God. kapacitet proizvodnje	Površina objekta
„Contador“	San Vicente, Španija	2008.	150.000 boca	2.800m ²
„Antinori“	Bargino, Italija	2012.	2.500.000 boca	50.000m ²
„Franz Keller“	Oberbergen, Nemačka	2013.	400.000 boca	4.900m ²

4.1. Vinarija „Contador“, Španija

4.1.1. Analiza urbanističkog rešenja

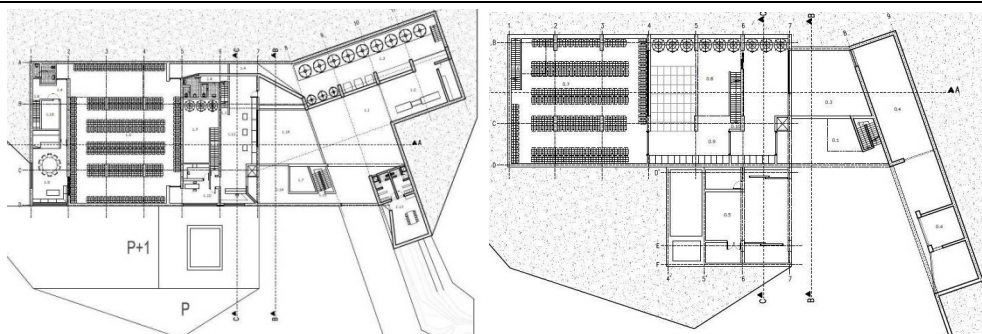
Vinarija „Contador“ sagrađena je 2008. godine u vinskoj regiji *La Rioja Alta*, u Španiji, severoistočno od mesta *San Vicente de la Sonsierra* u brdskom području. Kompozicija objekta pruža se podužno pravcem severoistok-jugozapad i proteže se kroz tri kaskadno poređana nivoa, koja prate pad terena ka jugoistoku, istovremeno delimično integrisana u padini stena *San Pelayo* (Slika 4, levo) [11]. Vinarija se oslanja na lokalni put sa istočne strane preko koga se vrši prijem grožđa iz obližnjih vinograda i distribucija vina ka gradovima. Prva faza procesa proizvodnje započinje na srednjoj etaži (nivo 1), dovođenjem grožđa do platoa rampom iz pravca severoistoka. Sa najniže etaže (nivo 0) vrši se distribucija gotovog proizvoda. Vinariju okružuju vinogradi, i zelenilo kojim su prekriveni i ravni krovovi kaskada (Slika 4, desno). Kompozicija vinarije prilagođena je reljefu terena, čime su iz njene unutrašnjosti omogućene atraktivne vizure ka okruženju.



Slika 4. Vinarije „Contador“ (Izvor: <https://www.area-arch.it/en/bodega-contador/>)

4.1.2. Analiza funkcionalnog rešenja

Sadržaji namenjeni proizvodnji i turistima prožimaju se kroz tri etaže. Sve prostorije objekta organizovane su oko centralnog atrijuma preko koga se pojedini sadržaji osvetljavaju i provetravaju. Kaskadno koncipiranje arhitektonske strukture omogućilo je transport produkta primenom sile gravitacije. Sala za fermentaciju proteže se kroz najviši i srednji nivo, na severnoj strani. Odatle se vino cevima dovodi do sale za malolaktičnu fermentaciju na južnom delu nivoa 1, a potom transportuje do sale sa sazrevanje vina u buradima, koja je pod zemljom (nivo 0) (Slika 5). Sa istog nivoa, nakon flaširanja i pakovanja vrši se isporuka proizvoda.



Slika 5. Prikaz osnove nivoa 1 i nivoa 0 vinarije „Contador“ (Izvor: crtež autora korišćenjem podloga sa sajta <https://www.area-arch.it/en/bodega-contador/>)

Kretanje posetilaca organizovano je na način koji ne remeti rad u proizvodnji, a uvođenjem transparentnih pregrada kreirana je vizuelna veza sa proizvodnjom [12]. Posetioци se sa nivoa 1 stepeništem uvode na najviši nivo sa vinskom salom i galerijskim prostorom otvorenim ka salama za fermentaciju na severu i jugu. Prohodni deo terase na koju se izlazi sa najviše etaže ima ulogu vidikovca (Slika 4, desno). Pristup turista sali za sazrevanje vina je sa nivoa 0, odakle stepeništem dolaze do sale za degustaciju na nivou 1. Vinarija posetiocima pored obilaska objekta nudi posetu vinogradima i obližnjoj vinskoj pećini - današnjem muzeju vina.

4.1.3. Analiza forme i materijalizacije

Ideja projektanta (*Hector Herrera Ribas*), iz koje je proistekla forma vinarije, je integrisanje kompozicije u okolni pejzaž. Vinarija je dizajnirana kao ugrađeno proširenje već formiranih terasa vinove loze i zelenila koje su karakteristične za oblast *La Rioja Alta* (Slika 6, levo). Prelom gabarita kreirane strukture omogućio je njeno otvaranje ka putu i koncipiranje platoa sa ulazom. Prostorije vinarije su različito orijentisane što se odrazilo na karakter vizura iz unutrašnjosti. Terasa tri kaskadno postavljena volumena prekrivene su zelenilom, u cilju stapanja objekta sa okruženjem, tako da vinarija vizuelno nestaje posmatrajući vinski pejzaž sa brda *San Pelayo* [12]. Arhitektonsku formu karakteriše istovremena kompaktnost i razućenost, postignuta prelomom gabarita i uvođenjem atrijuma. Formu definiše nekoliko oštih linija, koje naglašavaju horizontalnost objekta. Spoljašnja materijalizacija vinarije je jednostavna. Beton objektu daje monumentalnu notu i kontrira živopisnoj sredini. Autentičnost vinarije postignuta je uvođenjem horizontalnih brazdi na betonu i trakastih prozorskih otvora (Slika 6, desno).

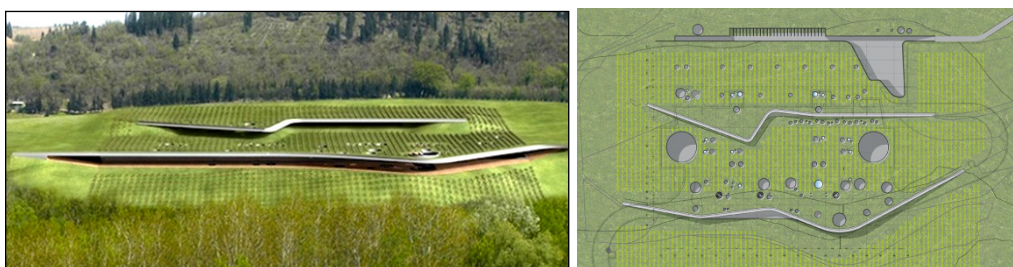


Slika 6. levo - kreiranje strukture na osnovu terena; desno - eksterijer (Izvor: <https://www.area-arch.it/en/bodega-contador/>)

4.2. Vinarija „Antinori“, Italija

4.2.1. Analiza urbanističkog rešenja

Vinarija „Antinori“ nalazi se na brdovitom ruralnom području mesta Bargino u italijanskoj regiji Toskana. Izgradnja vinarije završena je 2012. godine [13]. Vinarija se nalazi u blizini magistralnog puta koji povezuje gradove Firencu i Sijenu, prepoznate kao značajne distributivne centre. Kompozicija vinarije osmišljena je tako da se objekat prilagođava prirodnoj topografiji terena, formirajući dve kaskade razvijene niz pad terena ka zapadu. Pristupni putevi koji se oslanjaju na vinariju sa zapadne i istočne strane povezani su međusobno ukopanim tunelom. Gornji pristupni put koristi se za prijem grožđa, a donji za distribuciju gotovog proizvoda. Kaskade koje neprimetno vire iz brdovitog predela transformisane su u poljoprivredno zemljišta za uzgajanje vinove loze (Slika 7) [9].



Slika 7. Kompozicija i situacioni plan (Izvori: <http://gambar.maknyus.net/antinori-winery-architecture>; <http://www.archdaily.com/371521/antinori-winery-archea-associati>)

4.2.2. Analiza funkcionalnog rešenja

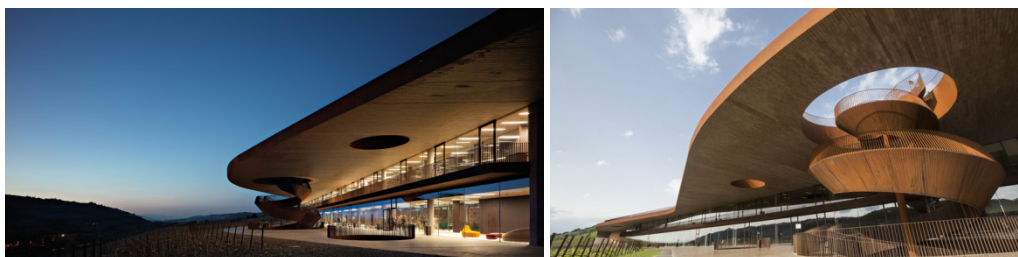
Sadržaji su raspoređeni kroz četiri etaže, od kojih je jedna u potpunosti ukopana, dve se nalaze u sklopu donje, a jedna u sklopu gornje kaskade (Slika 8). Tok tehnološkog procesa započinje na najvišoj etaži, kako bi se gravitacija i nagib terena iskoristili za transport sirovina i poluproizvoda sopstvenom težinom do nižih nivoa [13]. Najviša etaža namenjena je prijemu i primarnoj preradi grožđa, obuhvata parking prostor i tehničke prostorije. Centralni nivo organizovan je sa galerijskim prostorom otvorenim ka salama za fermentaciju i sazrevanje vina u bačvama, koje zauzimaju dve najniže etaže (Slika 8). Na centralnoj etaži predviđen je širok spektar javnih sadržaja: biblioteka, muzej, auditorijum, suvenirnica i nekoliko degustacionih sala. Pored unutrašnjih vertikalnih komunikacija, projektom je predviđeno i spoljašnje spiralno stepenište namenjeno posetiocima koje povezuje kaskade (Slika 9, desno). Terasa kaskada imaju ulogu vidikovaca i otvorenih prostora uz javne sadržaje. Kako bi se unutrašnjost dovoljno prirodno osvetlela, kreirani su krovni kružni prodori različitih veličina (Slika 7, desno).



Slika 8. Prikaz preseka vinarije niz pad terena (Izvori: <http://www.archdaily.com/371521/antinori-winery-archea-associati>)

4.2.3. Analiza forme i materijalizacije

Kompozicija vinarije razvijena je horizontalno, a odnos velike površine objekta u odnosu na spratne visine doprinosi osećaju stapanja objekta sa okruženjem. Motivi dva krivolinijska preseka kojima je teren zasečen, a fasadni frontovi vinarije otvoreni ka okolini, determinišu ritmičnost arhitektonskog izraza. Reinterpretiranjem okruženja kroz oblikovanje i materijalizaciju poštuje se nasleđeni teroar [10]. Fenomenološki pristup teži podsticanju doživljaja spoljašnjeg vinskog ambijenta kod posetilaca. Upotreba stakla dominira celom dužinom fasada, dok je drvo korišćeno kao obloga ostalih vidljivih struktura (Slika 9). Kružni krovni otvori različitih veličina imaju značajan vizuelni efekat kako u dvodimenzionalnom tako i u trodimenzionalnom planu. Upečatljiviji element kompozicije je spiralno stepenište, visine oko 30 m, koje kreće iz unutrašnjosti i izviruje do krova najviše kaskade [13].



Slika 9. Prikaz spoljašnjosti vinarije (Izvori: <http://www.archdaily.com/371521/antinori-winery-archea-associati>)

4.3. Vinarija „Franz Keller“, Nemačka

4.3.1. Analiza urbanističkog rešenja

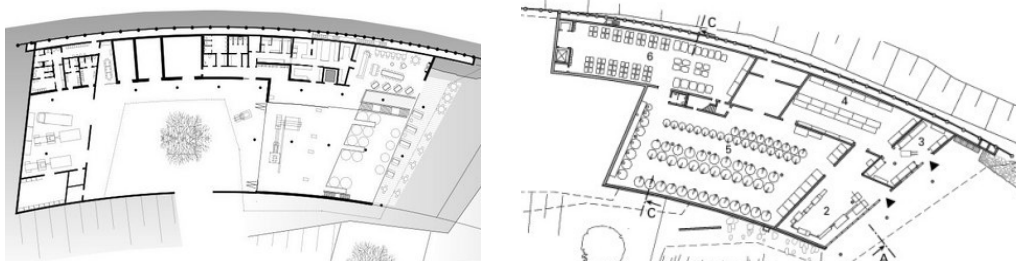
Vinarija „Franz Keller“ sagrađena je 2013. godine u mestu Oberbergen, vinske regije *Kaiserstuhl* u Nemačkoj, severozapadno od grada Frajburg u brdskom području okruženim vinogradima. Kompozicija vinarije pruža se podužno pravcem severoistok-jugozapad, proteže se kroz tri kaskadna nivoa niz pad terena ka severoistoku. Objekat se oslanja na lokalni put ka istoku i magistralni put na severu koji se koristi kao saobraćajna veza sa distributivnim centrima. Usecanjem kompozicije u severnom i južnom delu formirani su platoi sa parking prostorima, odakle se sa najviše etaže na jugu vrši prijem, a sa najnižeg nivoa na severu isporuka vina. Terasa kaskada prekrivene su zelenilom, a korišćenjem prirodne topografije terena vinarija je integrisana sa okruženjem (Slika 10) [14]. Formirane kaskade delimično se koriste i kao nadstrešnice kod pristupnih platoa. U neposrednoj blizini vinarije, niz padinu nalaze se stambeni porodični objekti.



Slika 10. Prikaz vinarije i neposrednog okruženja [15]

4.3.2. Analiza funkcionalnog rešenja

U okviru najvišeg nivoa (nivo 2), oko formiranog poluatrijuma, koji ima funkciju pristupnog platoa, smeštene su tehničke prostorije, prostorije radnika, prostor za prijem i preradu grožđa, kao i gornji nivo sale za fermentaciju (Slika 11, levo). Nagib terena maksimalno je iskorišćen za transport između različitih faza proizvodnje. Na srednjem nivou (nivo 1) pozicioniran je donji nivo sale za fermentaciju i administracija, dok se na najnižem nivou (nivo 0) nalaze sala za sazrevanje vina, prostor za flaširanje, pakovanje i distribuciju (Slika 11, desno) [15]. Posetioци pristupaju vinariji sa nivoa 1, odakle se iz prijemnog hola sa suvenirnicom i vinskiм barom uvode u salu za fermentaciju. Na najvišoj etaži nalazi se restoran za posetioce, oslonjen na otvorenu prohodnu terasu (vidikovcem). Dvostrana orijentacija etaža, uz usecanje gabarita uvođenjem unutrašnjeg dvorišta, omogućila je adekvatno prirodno osvetljenje i provetranje svih prostorija vinarije.



Slika 11. Prikaz osnova nivoa 2 i 0 vinarije „Franz Keller“ u Nemačkoj [15]

4.3.3. Analiza forme i materijalizacije

Kompozicija vinarije formirana je kao proširenje postojećih kaskada vinove loze, sa idejom stapanja sa prirodnim okruženjem, delimičnim ukopavanjem volumena (Slika 12, levo). Osnovna ideja projekatana (*Geis & Brantner*) u kreiranju koncepta vinarije bila je sinergija prirode i nove veštačke tvorevine, uz poštovanje harmonije nasleđenih lejera vinskog predela [15]. Razuđenost forme postignuta je stepenovanjem volumena uz usecanje primarnog gabarita zbog pristupa (Slika 10). U konstrukciji objekta korišćen je armirani beton, dok u spoljašnjosti osim zelenila na krovovima, dominira drvena obloga najnižeg nivoa i velike staklene površine fasada viših etaža, koje otvaraju atraktivne vizure iz unutrašnjosti (Slika 12, desno). Eksterijer vinarije dopunjuje ritmičnost stubova na kojima se oslanjaju prepuštene terase krovova. Primena stakla povezuje unutrašnjost vinarije sa okruženjem i prirodnim ambijentom.






Slika 12. levo - kreiranje struktura na osnovu terena; desno - eksterijer vinarije (Izvor: <https://www.vdp.de/en/die-winzer/baden/franz-keller>)

5. REZULTATI I DISKUSIJA - KOMPARATIVNA ANALIZA

U Tabeli 2 dat je uporedni prikaz analiziranih terasastih vinarija uzimajući u obzir aspekt urbanističkog rešenja, funkcionalnog rešenja, forme i materijalizacije.

Tabela 2. Komparativna analiza odabranih terasastih vinarija

Prikaz vinarija	„Contador“	„Antinori“	„Franz Keller“
			
Urbanističko rešenje			
Karakter okruženja	brdsko područje, vinogradi	brdsko područje, vinogradi, šuma	brdsko područje, vinogradi, kuće
Broj pristupnih puteva	jedan uz najniži nivo	dva, uz najviši nivo i najniži nadzemni	jedan koji prati pad terena
Integrisanje u okruženje	ukopavanjem, zelenim krovom	ukopavanjem, zelenim krovom	ukopavanjem, zelenim krovom
Zelenilo krova	majčina dušica	vinova loza	autohotone biljke
Broj kaskada	tri	dve	tri
Funkcionalno rešenje			
Broj etaža	tri	četiri	tri
Prijem grožđa	centralni nivo	najviši nivo	najviši nivo
Isporuka vina	najniži nivo	predzadnji nivo	najniži nivo
Namena kaskada	vidikovac povezan sa degustacijom	terasa restorana i vidikovac	terasa restorana i vidikovac
Povezivanje kaskada	centralnim atrijumom	spiralnim stepeništem	poluatrijumom
Forma i materijalizacija			
Karakter kompozicije	horizontalnost, monumentalnost	izražena horizontalnost	horizontalnost, minimalizam
Elementi za kreiranje forme	kaskade, prelom gabarita, atrijum	kaskade, krivolinijski prorezi, kružni otvori	kaskade, atrijum
Karakter otvora	trakasti otvori	stakleni portali	stakleni portali
Materijalizacija	beton, staklo	staklo, drvo	staklo, drvo

Dobijeni rezultati ukazuju na određene sličnosti među analiziranim terasastim vinarijama. Sve tri vinarije sagrađene su u brdskom području u vinogorjima, i integrisane su sa okruženjem ukopavanjem volumena u tlo i prekrivanjem krovova kaskada zelenilom. Zbog toga se može zaključiti da se terasaste vinarije grade najčešće u ruralnim vinogradarskim područjima. Kaskade formirane stepenovanjem kompozicije niz padinu imaju namenu terasa i vidikovaca, i povezane su usecanjem primarnog volumena atrijumom ili stepeništem. Na taj način omogućena je vizuelna i/ili direktna povezanost između pojedinih nivoa kompozicije. Vidikovci i terase oslanjaju se na restorantske sale i sale za degustaciju. Broj kaskada je različit, i u okviru jedne kaskade može se naći više etaža. Prijem grožđa se vrši sa viših, a isporuka vina sa najnižih etaža, čime se gravitacija maksimalno koristi za transport međuprodukta, bez obzira na broj i položaj pristupnih puteva.

Sa aspekta oblikovanja, analizirane terasaste vinarije karakteriše izražena horizontalnost i jednostavnost spoljašnje materijalizacije. Staklo dominira kao primenjeni materijal, dok su kao fasadne obloge kod analiziranih objekata korišćeni beton ili drvo. Ovakva primena materijala ukazuje na težnju stapanja objekta sa okruženjem brisanjem granica između unutrašnjosti i spoljašnjosti, i neutralisanja nove strukture u postojećem vinskom pejzažu. Istovremeno primena većih staklenih površina omogućava kreiranje odgovarajućih vizura iz unutrašnjosti.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Razvoj vinske arhitekture u XXI veku uslovio je pojavu raznovrsnih modela savremenih vinarija. U radu su istraživane osnovne karakteristike terasastih vinarija analizom tri odabrana primera izvedenih objekata na prostoru Evrope, u cilju prepoznavanja zajedničkih principa prostorno-programske organizacije i oblikovanja. Uzimajući u obzir aspekt urbanističkog rešenja, funkcionalnog rešenja, forme i materijalizacije, sprovedenom komparativnom analizom identifikovani su sledeći zajednički principi koji u procesu arhitektonskog projektovanja učestvuju u determinisanju modela terasastih vinarija:

- *Optimalno korišćenje benefita karakteristika terena u procesu proizvodnje vina* - Delimičnim ukopavanjem arhitektonske strukture vinarije u zemlju i formiranjem kaskadnih volumena omogućeno je stepenasto ređanje faza procesa proizvodnje niz padinu terena. Kod terasastih vinarija, prijem grožđa odvija se na višim etažama, a potom se sirovine i poluproizvodi transportuju korišćenjem sopstvene težine do najniže etaže sa koje se vrši distribucija vina. Ukopavanjem dela objekta omogućava se korišćenje prirodne konstantne temperature tla u fazama sazrevanja vina, dok se uvođenjem kaskada fasadni frontovi otvaraju obezbeđujući potrebno prirodno provetravanje. Na ovaj način minimizira se potrošnja energije za ventiliranje, hlađenje, i transport.
- *Integrisanje arhitektonske kompozicije u prirodno okruženje* - Formiranjem kaskada kompozicija terasastih vinarija se prilagođava nasleđenim obrascima i reljefnim linijama postojećeg vinskog pejzaža. Prekrivanjem terasa kaskada zelenilom teži se potpunom vizuelnom stapanju volumena vinarije sa okolinom, čime se prirodni resursi podneblja poštuju uz minimiziranje negativnih uticaja novoizgrađene strukture. Terasaste vinarije karakteriše izražena horizontalnost, a njihova integrisanost sa okruženjem postiže se i minimalističkim pristupom u materijalizaciji fasadnih frontova. Njihova kompozicija učestuje u kreiranju atraktivnih vinskih predela.
- *Fenomenologija podsticaja doživljaja vinskog ambijenta kod posetilaca* - Korišćenjem velikih staklenih površina neposredno okruženje se transponuje u unutrašnjost vinarije, brisanjem granica između otvorenog i zatvorenog prostora. Na ovaj način se kreiraju atraktivne vizure iz unutrašnjosti objekta, ali i sa terasa formiranih kaskada koje se gotovo neizostavno koriste kao vidikovci za posetioce. Doživljaj posetilaca kod terasastih vinarija ne gradi se samo putem kretanja kroz proizvodni prostor, već je akcenat i na spoljašnjem vinskom ambijentu. Koncept stapanja sa okruženjem istovremeno budi radoznalost posmatrača i pruža specifičan doživljaj postepenog otkrivanja obrisa vinarije kako joj se posetioci približavaju.

Minimiziranjem negativnog uticaja na okruženje i energetske potrošnje, korišćenjem zelenih krovova i prirodnih materijala teži se primeni koncepta održive savremene arhitekture terasastih vinarija. Uzimajući u obzir prepoznate zajedničke principe korišćenja benefita karakteristika terena, integrisanosti sa okruženjem i fenomenologije doživljaja vinskog ambijenta zaključuje se da terasaste vinarije predstavljaju autentičan primer teroar arhitekture objedinjavanjem klime, topografije terena i konteksta u procesu projektovanja.

LITERATURA

- [1] Harea Olga: **Contemporary wine architecture in viticultural landscapes**. Doctoral dissertation. *Szent Istvan University*, Budapest, Hungary, 2019.
- [2] Stanojević Ana, Turnšek Branko, Stanković Danica: **Terrain as an influential factor in designing of contemporary wineries**. *Architecture. Building. Education.*, no. 1 (11), pp. 18-27, 2018.
- [3] Antešević Nebojša: **Vino i arhitektura: Savremene tendencije u projektovanju vinarija**. *Prostor S*, no. 11, pp. 76-85, 2010.
- [4] Kojić Branislav, Simonović Đorđe: **Poljoprivredne zgrade i kompleksi**. *Beograd: Građevinska knjiga*, 1978.
- [5] Stanojević Ana, Jevremović Ljiljana, Turnšek Branko, Rančić Đurđina: **Sustainable industrial architecture: ecological design of contemporary wineries**. *Proceed. of 2nd International Conference of Sustainable Environment and Technologies*, University „UNION- Nikola Tesla“, pp. 119-126, 2022.
- [6] Mazarron Fernando, Cid-Falceto Jaime, Canas Ignacio: **Assessment of aboveground winery buildings for the aging and conservation of wine**. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(6), pp. 903-910, 2012.
- [7] Gomez-Villarino Maria Teresa, Barbero-Barrera Maria del Mar, Mazarron Fernando, Canas Ignacio: **Cost-effectiveness evaluation of nearly zero-energy buildings for the aging of red wine**. *Agronomy*, 11(4), pp. 687, 2021.
- [8] Mazarron Fernando, Cid-Falceto Jaime, Canas Ignacio: **Thermal inertia for energy efficient building design: A case study on food industry**. *Energies*, 5, pp.227-242, 2012.
- [9] Drazdil David, Sedlakova Pavlina, Skraeddergaard Frydkjaer Nadia: **Winery for the new Century: Integrated Design for sustainable Winery, Master Thesis**. *Aalborg University*, 2015.
- [10] Brink Marina Gabriela: **The Architecture of Terroir: A phenomenological Approach to the Design of Winery, Master Thesis**. *Syracuse University*, 2009.
- [11] Alvarez Alfaro: **Bodega Espanolas, Las Arquitectura del Vino-Real Academia Espanolade Gastronomía**. *Lunweg Editores, Španija*, 2010.
- [12] Unknown: **Bodega Contador - Camino Transantiago (San Vicente de la Sonsierra)**. *Formas de proyectar*, no. 2, pp. 108-115, 2008.
- [13] Andreini Laura: **Antinory winery: Diary of buildings a new landscape**. *Siena: Forma edizioni*, 2013.
- [14] Harea Olga, Eplenyi Anna: **Viticultural Landscape Patterns - Embedding contemporary wineries into th landscape site**. *Scientific Journal of Latvia Unviersity of Agriculture Landscape Architecture and Art*, vol. 10, no. 10, pp. 7-14, 2017.
- [15] **Careful handling of nature, Winery Franz Keller, Oberbergen**. *DBZ Sustainability: ecological, natural, healthy*, no. 6, pp. 2014.

primljen: 09.01.2023.
korigovan: 13.02.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

UDK : 627.152.12:551.311.24(497.11)

izvorni naučni rad

UTICAJ HIDRAULIČKOG OBLIKOVANJA KORITA REKE NIŠAVE U NIŠU NA REŽIM PRONOSA I ISTALOŽAVANJA NANOSA

Borko Radivojević¹
Dragan Radivojević²
Aleksandra Ilić³

Rezime

Oblik uređenog korita ima veliki uticaj na hidrauličke veličine u rečnom toku. Velika širina korita može uzrokovati male brzine i malu transportnu moć vodotoka, što se manifestuje gomilanjem nanosa u koritu, stvaranjem ostrva i sekundarnih tokova. U gradskim uslovima ova pojava narušava ambijent, a u hidrauličkom smislu može dovesti do povećanja hidrauličkih otpora usled bujanja vegetacije u koritu i smanjenju proticajne površine što direktno utiče na povećanje dubina vode u koritu, naročito prilikom nailaska talasa velikih voda. U radu je analiziran uticaj hidrauličkog oblikovanja korita na režim i pojavu nanosa na regulisanoj deonici reke Nišave u gradskoj zoni grada Niša od Železničkog do Kamenog mosta. Izvršeni su hidraulički proračuni za različite varijante preoblikovanja korita.

Ključne reči: pronos nanosa, istaložavanje, Nišava, uređenje vodotoka

THE EFFECT OF HYDRAULIC RIVERBED SHAPING OF THE NIŠAVA RIVERBED IN NIŠ ON SEDIMENT TRANSPORT AND DEPOSITION REGIME

Abstract

The shape of the riverbed has a significant impact on the hydraulic parameters in the river flow. The large width of the riverbed can result in a small watercourse velocities and low transport power, as manifested by sediment accumulation, the formation of islands, and secondary flows. This phenomenon disturbs the environment in urban areas, and in the hydraulic sense, it can lead to an increase in hydraulic resistance due to vegetation growth in the riverbed, which directly affects the increase of water depths in the riverbed, primarily when high waters occur. The paper presents the impact of riverbed hydraulic reshaping on the regime and deposition of sediment on the trained section of the Nišava River through urban area of the city of Niš, from the "Železnički most" to the "Kameni most". Hydraulic calculations were performed for various riverbed reshaping variants.

Key words: Sediment Transport, Deposition, Nišava, Trained Riverbed

¹ Borko Radivojević, Student DAS, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, borko.radivojevic@yahoo.com

² Dr Dragan Radivojević, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, dragan.radivojevic@gaf.ni.ac.rs

³ Dr Aleksandra Ilić, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Intenzivne atmosferske padavine prouzrokuju u rečnim slivovima dva paralelna procesa – površinski oticaj i spiranje tla, usled čega dolazi do nastanka velikih voda i eroziona produkcije nanosa. Produkti ovih procesa dospevaju u hidrografsku mrežu, kroz koju nastavljaju kretanje u vidu dvofaznog fluida [1, 9]. Usled pojave velikih voda dolazi do deformacija rečnog korita koje su uslovljene promenom veličine vučnih sila u rečnom toku. Sa povećanjem vučne sile toka raste transportni kapacitet usled čega dolazi do pojave erozije u rečnom koritu. Obrnuto, smanjenje vučne sile toka utiče na opadanje transportnog kapaciteta, kada u jednom trenutku dolazi do pojave zasipanja korita istaložavanjem nanosa [11, 12, 13].

Uređenjem vodotokova u gradskoj zoni, pored osnovne namene za zaštitu od velikih voda korito treba da ima i estetsku ulogu pa se radi i njegovo pejzažno arhitektonsko uređenje. Oblik korita ima veliki uticaj na hidrauličke veličine u rečnom toku. Ono može biti oblikovano da primi velike vode, ali je veoma bitno i da bude dobro dimenzionisano da propušta srednje, odnosno male vode sa povoljnim hidrauličkim veličinama. Ukoliko korito nema adekvatan oblik za prijem malih voda, može doći do pojave malih dubina i brzina u samom vodotoku, usled čega je i manja transportna moć. U takvim uslovima vodotok će težiti da postigne svoje prirodno stanje za proticaj malih voda gde se to može manifestovati gomilanjem nanosa u koritu, stvaranjem ostrva, sekundarnih tokova ili formiranjem čitave mreže malih vodotokova između naslaga nanosa. U gradskim uslovima ovaj problem može biti jako ozbiljan jer gomilanje nanosa smanjuje propusnu moć korita. Vremenom na formiranim ostrvima dolazi do bujanja vegetacije u koritu, što estetski narušava ambijent, ali u isto vreme menja karakteristike korita, tj. povećava otpore kretanju i smanjuje proticajnu površinu čime direktno utiče na podizanje nivoa vode.

U praksi postoji širok dijapazon zadataka u kojima je potrebno odrediti pronos nanosa u prirodnim vodotocima. Pronos nanosa predstavlja jednu od najznačajnijih i najosetljivijih komponenti rečne hidraulike. Postoji veliki broj formula za proračun pronosa nanosa, koje su vremenom razvijane. Uglavnom empirijske formule, nastale uspostavljanjem korelacija između parametara kojima se opisuju svojstva fluida i nanosa, njihovo kretanje i interakcije. Za proračun pronosa vučenog nanosa koriste se formule koje su skoro isključivo izvedene na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja. U raspoloživoj svetskoj literaturi navodi se veliki broj formula za proračun vučenog nanosa. Najpoznatije su Majer-Peter-Miler, Jang, Gončarov, Englund-Hansen i druge [1, 21].

Unapređenje računarske tehnologije dozvolilo je kreiranje numeričkih modela koji se mogu primenjivati na razne situacije, a ne samo na konkretan problem za koji je model sastavljen. Pouzdanost numeričkih modela zavisi od toga koliko dobro osnovne jednačine opisuju razmatrane fizičke procese [8]. Pregledom postojećih modela razlikuju se jednostavniji modeli koji usvajaju pristup da se nanos može predstaviti sa jednim karakterističnim zrnom [2, 4, 5, 10] i na složenije modele koji nanos predstavljaju preko mešavine zrna različitih veličina [3, 6, 7, 17, 19, 20]. Većina ovih modela se svodi na rešavanje St. Venant-ovih jednačina neustaljenog strujanja. Pregledom literature, većina autora prihvata ideju da se nanos modeluje preko zrna nanosa različitih veličina. Razlog za prihvatanje ovakve ideje jeste da se na taj način za ukupan transport nanosa

dobijaju bolja slaganja sa merenjima nego kada se nanos modeluje kao uniforman.

U ovom radu je analiziran uticaj hidrauličkog oblikovanja korita na režim pronosa i pojavu istaložavanja nanosa na regulisanoj deonici u gradskoj zoni grada Niša, na deonici između Železničkog i Kamenog mosta. Istraženi su uticaji za različite varijante preoblikovanja postojećeg korita i uporedno prikazani rezultati sprovedenih analiza. Cilj istraživanja jeste smanjenje mogućnosti istaložavanja nanosa i stvaranja sprudova, čime bi se sprečile promene oblika rečnog korita, sprečio rast niske i visoke vegetacije u koritu i očuvali prijatni ambijentalni uslovi.

2. STUDIJA SLUČAJA

Reka Nišava kroz Niš u centralnom delu grada protiče kroz uređeno dvogubo korito sa visokim kejskim zidovima. Predmet istraživanja obuhvata reku Nišavu na potezu od Železničkog do Kamenog mosta u ulici Knjeginje Ljubice. Nizvodno od Kamenog mosta, regulisano dvogubo korito širine 33 m prelazi u jednogubo sa širinom od 59 m. Zbog ovog proširenja glavni tok Nišave se spontano pomera uz levu obalu kejskog zida izgrađenog od kamena (Slika 1), dok na desnoj strani korita dolazi do istaložavanja nanosa i stvaranje sprudova (Slika 2). Istaložavanje nanosa i nastali sprudovi dovode do smanjenja propusnosti korita i stvaraju stalnu potrebu za čišćenjem korita angažovanjem mehanizacije za šta je potrebno izdvajanje značajnih finansijskih sredstava.



Slika 1. Nišava – leva obala nizvodno od Kamenog mosta

Da bi se proverila mogućnost nalaženja održivog rešenja problema istaložavanja nanosa u radu je analiziran veći broj varijanti preoblikovanja korita reke Nišave na predmetnoj deonici. Varijante koje su analizirane pretpostavljaju promenu geometrijskog oblika korita i formiranje dvogubog poprečnog preseka, sa različitim širinama u dnu korita i dodavanjem forlanda različitih visina i širina.

Ujedno, ovakvim rešenjem bi se nastavio kontinuitet i povezanost sa deonicom uzvodno od Kamenog mosta, koja je oblikovana u prostor za šetnju i rekreaciju.



Slika 2. Nišava – sprudovi uzvodno od Železničkog mosta

Analiza pojedinačnih varijanti preoblikovanja postojećeg korita obuhvata hidraulički proračun tečenja za geometriju korita sa proeoblikovanim poprečnim presekom u odnosu na postojeći i proračun pronosa vučenog nanosa. Nizvodno od Železničkog mosta i uzvodno od Kamenog mosta korišćeni su geodetski snimci načinjeni u vreme izrade ove studije, dok su na predmetnoj deonici, između Železničkog i Kamenog mosta, korišćeni geodetski snimci iz projektne dokumentacije za uređenje reke Nišave izrađene u prethodnim periodu (2000-2022).

3. MATERIJALI I METODE

U skladu sa navedenim predmetom istraživanja i postavljenim ciljevima, u toku izrade rada, za proračun linija nivoa vodnog ogledala korišćen je simulacioni model HEC-RAS 5.0.7. Proračun linija nivoa vodnog ogledala izvršen je za uslove ustaljenog, neravnomernog režima tečenja i to za merodavne računске proticaje [9] za period 1948-1986 godine:

- $Q_{sr} = 31.8 \text{ m}^3/\text{s}$ – srednji višegodišnji proticaj
- $Q_{20\%} = 430 \text{ m}^3/\text{s}$ – velika voda verovatnoće pojave $p = 20\%$
- $Q_{10\%} = 560 \text{ m}^3/\text{s}$ – velika voda verovatnoće pojave $p = 10\%$
- $Q = 800 \text{ m}^3/\text{s}$ – proticaj koji može da propusti Medoševački most
- $Q_{1\%} = 930 \text{ m}^3/\text{s}$ – velika voda verovatnoće pojave $p = 1\%$
- $Q_{0.1\%} = 1300 \text{ m}^3/\text{s}$ – velika voda verovatnoće pojave $p = 0.1\%$

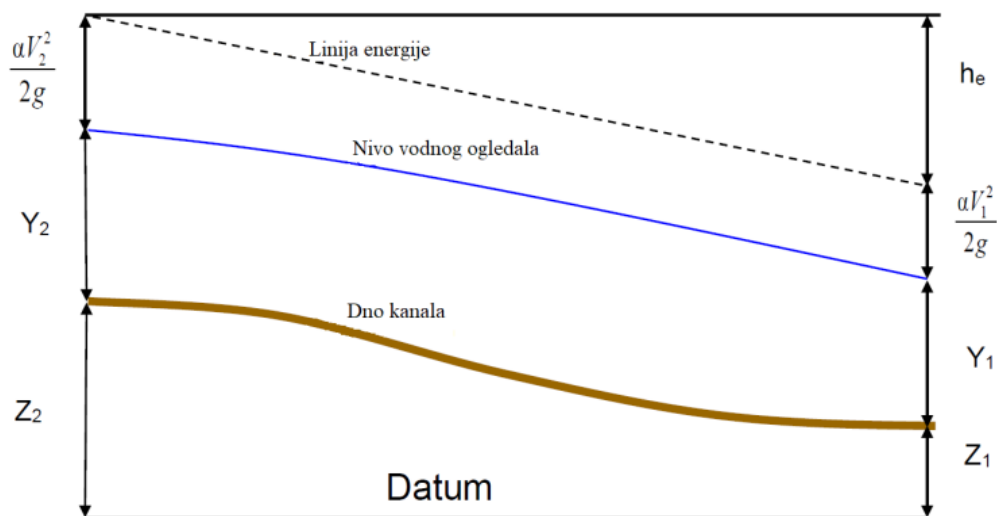
Simulacioni model HEC-RAS [14] je razvijen za proračun ustaljenog i neustaljenog tečenja u mreži otvorenih tokova nepravilne geometrije, sa velikim brojem različitih spoljašnjih i unutrašnjih graničnih uslova. Proračuni se mogu raditi za tečenje u mirnom, burnom ili prelaznom režimu. Računska procedura je zasnovana na rešavanju linijske energetske jednačine, u kojoj gubici energije

obuhvataju gubitke na trenje (preko Manningovog koeficijenta) i lokalne gubitke zbog promene geometrije (širenja/sužavanja) toka preko koeficijenta kojim se množi brzinska visina [15, 16]. Nivo vodnog ogledala se sračunava od početnog poprečnog profila prema susednom rešavanjem jednačine energije, primenom iterativne procedure pod nazivom "standardna step metoda" (Slika 3):

$$Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Gde je:

- Z_1, Z_2 – kota dna u koritu reke
- Y_1, Y_2 – dubina vode u poprečnom preseku
- v_1, v_2 – srednje profilske brzine
- α_1, α_2 – koeficijent brzinske visine
- g – gravitaciona konstanta
- h_e – gubitak energije



Slika 3. Prikaz pojmova u energetske jednačini [6]

Za sprovođenje proračuna, granični uslov mora biti postavljen na najnižvodnijem profilu u slučaju mirnog režima tečenja, ili na najuzvodnijem za slučaj burnog režima tečenja u koritu reke. Usvojene su vrednosti Manningovog koeficijenta hrapavopsti za minor korito $0.038 \text{ s/m}^{1/3}$, a za forlande $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$.

Za proračun pronosa vučenog nanosa koriste se brojne empirijske formule, koje su izvedene isključivo na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja, jer su merenja u prirodnim vodotocima opterećena velikim greškama, a praktično nemoguća u periodima velikih voda [1, 21]. Najpoznatija i najčešće korišćena jednačina za proračun transporta nanosa na vodotocima sa šljunčanim dnom je jednačina Majer-Peter-Milera (Meyer-Peter-Muller) koja se bazira na kritičnoj vučnoj sili (τ_{cr} , kN/m^2):

$$\frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho) * g * d} \approx \text{cons} \approx 0,047 \quad (2)$$

gde je: ρ_s – gustina nanosa = 2650 (kg/m³), ρ – gustina vode (kg/m³), g – gravitaciono ubrzanje (m/s²), d – srednji prečnik zrna nanosa (m).

Gornja jednačina se transformiše u izraz za jedinični pronos vučenog nanosa g_v (kg/ms):

$$g_v = C_{mp} * (\tau_0 - \tau_{cr})^{3/2} \quad (3)$$

gde je: τ_{cr} – kritična vučna slia (kN/m²), τ_0 – vučna sila koja se računa iz izraza:

$$\tau_0 = \left(\frac{n_r}{n}\right)^{3/2} * \left(\frac{Q_s}{Q}\right) * \rho * g * h * J \quad (4)$$

gde je: n_r – koeficijent hrapavosti koji zavisi od krupnih zrna nanosa ($n_r = \frac{d_{90}^{1/6}}{26}$), n – koeficijent rapavosti po Maningu (m^{-1/3} s), Q_s – deo protoka koji utiče na transport nanosa (m³/s), h – srednja dubina ili hidraulički radijus (m), J – pad linije nivoa

Konstanta C_{mp} se računa iz:

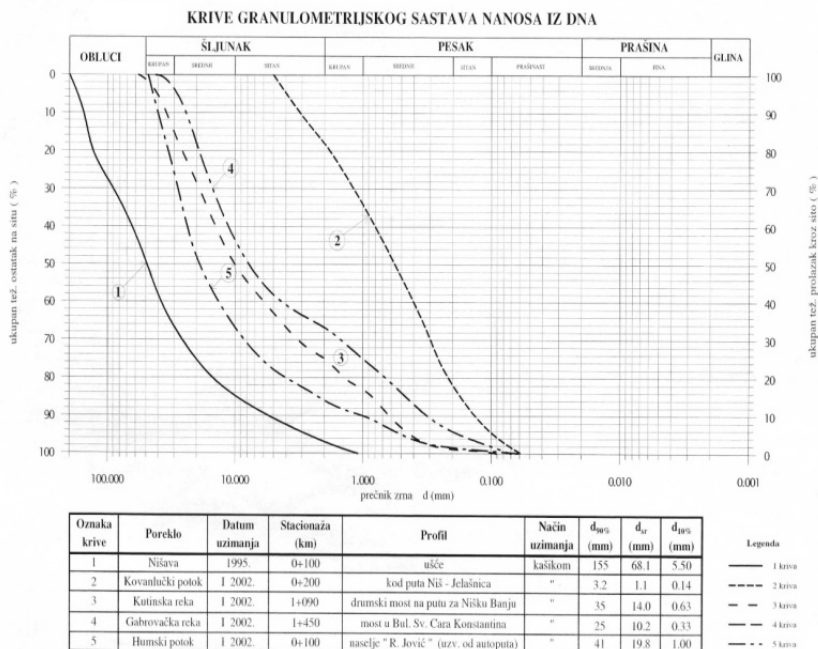
$$C_{mp} = \frac{a^{-3/2}}{g * \sqrt{\rho}} * \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho}\right) \quad (5)$$

Ukupan pronos vučenog nanosa kroz poprečni presek (G_v , kg/s) je:

$$G_v = q_v * B_v \quad (6)$$

gde je B_v – širina pojasa u kome se kreće vučeni nanos (m), a zavisi od hidrološko-hidrauličkih uslova. Približno je jednaka širini vodnog ogledala za srednju vodu [1].

U nedostatku uzoraka sa predmetne deonice, za analize pronosa nanosa korišćena je granulometrijska kriva nanosa na ušću Nišave u Južnu Moravu (Slika 4).



Slika 4. Granulometrijska kriva sastava nanosa na ušću Nišave u Južnu Moravu [18]

4. REZULTATI I DISKUSIJA

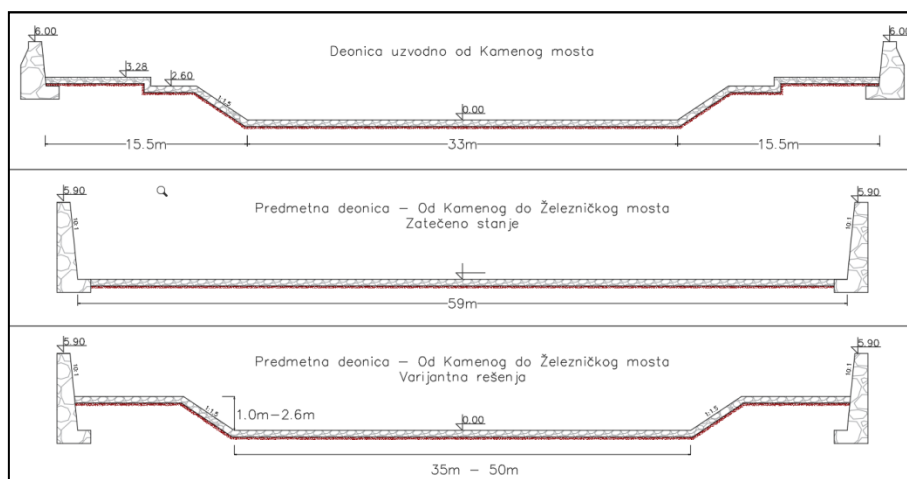
U sprovedenoj analizi ideja je bila sprečavanje ili smanjenje istaložavanja nanosa na deonici između Kamenog i Železničkog mosta.

Za potrebe analize, urađena je varijanta trenutnog stanja i 12 novih, mogućih rešenja (Tabela 1).

Varijante koje su analizirane pretpostavljaju promenu geometrijskog oblika korita i formiranje dvogubog poprečnog (trapeznog) preseka sa kosinama 1:1.5, različitim širinama u dnu korita i dodavanjem forlanda različitim visina i širina (Slika 5).

Tabela 1. Prikaz analiziranih varijantnih rešenja

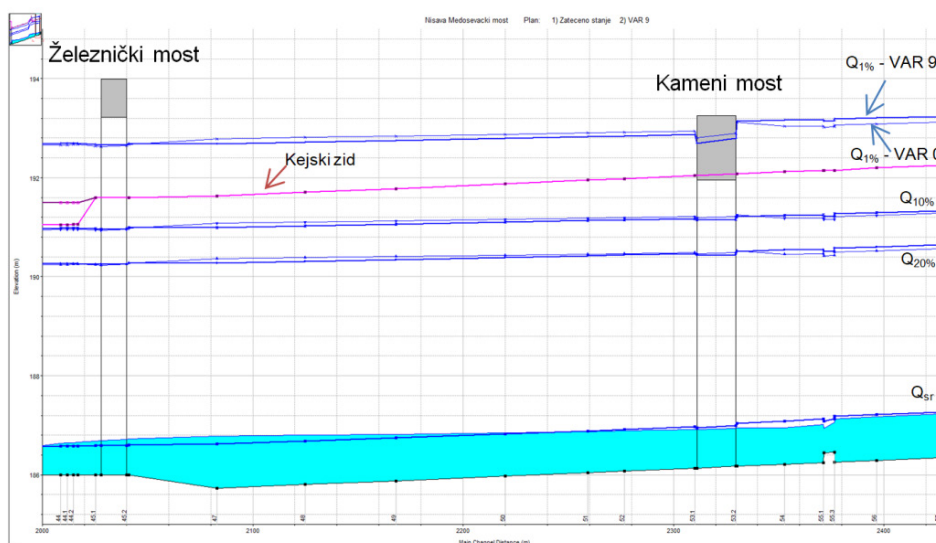
		Širina korita u dnu				
		59 m	50 m	45 m	40 m	35 m
Visina Forlanda	0m	Var 0				
	1m		Var 1	Var 4	Var 7	Var 10
	2m		Var 2	Var 5	Var 8	Var 11
	2.6m		Var 3	Var 6	Var 9	Var 12



Slika 5. Prikaz tipskog poprečnog profila za deonicu uzvodno od Kamenog mosta, predmetnu deonicu u zatečenom stanju i jedna od varijanti oblikovanja

Na osnovu dobijenih rezultata iz simulacionog modela HEC-RAS, preoblikovanjem korita Nišave, tj. formiranjem dvogubog korita na predmetnoj deonici došlo bi do sniženja kota nivoa vode usled manje širine toka u dnu i povećanja brzina u matici toka. Formiranjem dvogubog korita u analiziranim varijantama preoblikovanja korita ne postoji opasnost od stvaranja prevelikog uspora uzvodno od Kamenog mosta. Uspor je relativno mali za sve merodavne proticaje i neznatno je veći od uspora za korito u zatečenom stanju. Nadvišenje vodnog ogledala uzvodno od Kamenog mosta se kreće u granicama od 12-19 cm, tako da bi se uticaj uspora koji bi se stvorio preoblikovanjem korita primetio samo neposredno uzvodno od Kamenog mosta.

Analizom hidrauličkih proračuna primećeno je da pri pojavi stogodišnjih velikih voda analizirana deonica nema dovoljnu propusnu moć da propusti ove vode. Nezavršena regulacija i veliko suženje korita nizvodno od Železničkog mosta prouzrokuje prelivanje preko zaštitnih bedema i veliki uspor koji se propagira i na deonici koja je analizirana. Očigledno je da je trenutno stanje neodrživo i da treba preduzeti određene mere na preoblikovanju korita nizvodno od Železničkog mosta kako bi se opasnost od izlivanja vode u gradsko područje smanjila na najmanju moguću meru. U takvim uslovima jasno je uočljivo da Železnički most nema dovoljno veliki svetli otvor koji bi omogućio nesmetani prolaz stogodišnjih velikih voda. Ove velike vode na uzvodnoj deonici udaraju u konstrukciju Kamenog mosta i stvaraju uspor usled koga bi dolo izlivanja vode preko postojećih kejskih zidova. Na Slici 6 prikazan je hidraulički podužni profil računskih nivoa vode za zatečeno stanje uporedo sa jednom od analiziranih varijanti (Var 9).



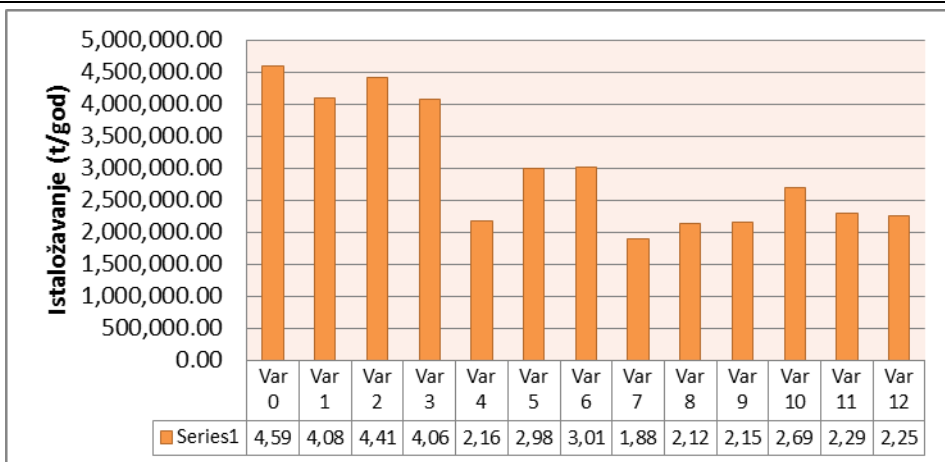
Slika 6. Prikaz podužnog profila analizirane deonice, uporedni prikaz zatečenog stanja (VAR 0) i Varijante 9

Analiza uticaja hidrauličkog preoblikovanja korita na režim i pojavu istaložavanja nanosa na predmetnoj deonici prikazana je na Grafikonu 1. Za analizirane varijante preoblikovanja korita na predmetnoj deonici prikazane su godišnje količine istaložavanja nanosa pri merodavnom proticaju $Q_{20\%}=430 \text{ m}^3/\text{s}$.

Istaložavanje nanosa kroz korito u zatečenom stanju (Var 0) iznosi oko 4.6 miliona tona godišnje, što je rezultat velikog istaložavanja nanosa usled velikog proširenja korita u dnu nizvodno od Kamenog prema Železničkom mostu.

Istaložavanje nanosa (Var 1, 2 i 3) je približno i kreće se od 4.1 do 4.4 miliona tona godišnje. U odnosu na prirodno stanje to jeste manja količina istaložavanja nanosa, ali ne i značajna.

Istaložavanje nanosa (Var 4) iznosi oko 2.1 miliona tona godišnje, što je manje za 53% u odnosu na zatečeno stanje, međutim, ova varijanta, kao i Var 7, ima visinu forlanda svega 1 m, što ne daje dobru ambijentalnu sliku. Da bi se stvorila kvalitetnija ambijentalna vrednost realnije je usvojiti neku od varijanti sa većom visinom forlanda.



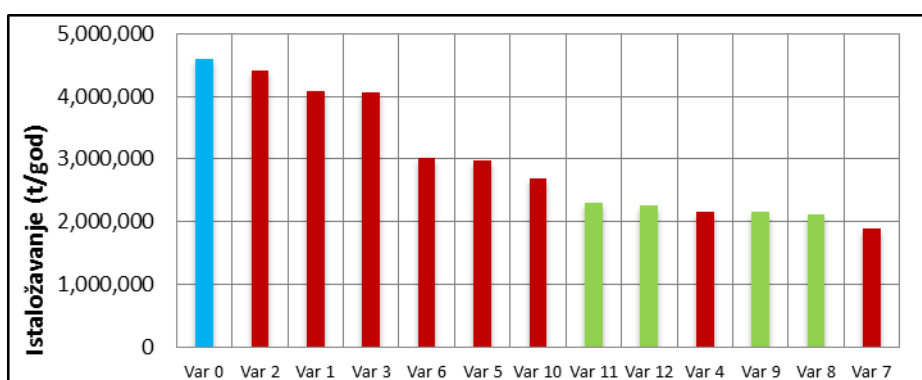
Grafik 1. Godišnje istaložavanje nanosa pri merodavnom proticaju $Q_{20\%}=430 \text{ m}^3/\text{s}$

Analizama za Var 5, 6 i 10 računске količine istaloženog nanosa kreću se od 2.7 do 3 miliona tona godišnje.

Analize Var 8, 9, 11 i 12 daju najbolje rezultate. Računske količine istaloženog nanosa se kreću od 2.1 do 2.3 miliona tona godišnje, što je manje za 52% u odnosu na zatečeno stanje. To znači da bi formiranje dvogubog korita nizvodno od Kamenog mosta sa širinom u dnu od 35 m do 40 m i visinom forlanda od 2.0 m i 2.6 m dalo zadovoljavajuće rezultate.

Na Grafikonu 2. je prikazano godišnje istaložavanje nanosa za svaku od navedenih varijanti po veličini i prihvatljivosti. Plavom bojom obeleženo je zatečeno stanje (Var 0), a crvenom bojom rešenja koja nisu prihvatljiva. Zelenom bojom su obeležena prihvatljiva rešenja. Među njima se mogu dobiti bolji rezultati ako se izvrši dodatno oblikovanje korita.

Na osnovu sprovedenih analiza može se preporučiti usvajanje Var 9, širine minor korita 40 m u dnu i visine forlanda 2.6 m. Visina forlanda je ista kao na deonici uzvodno od Kamenog mosta.



Grafik 2. Godišnje istaložavanje nanosa pri merodavnom proticaju $Q_{20\%}=430 \text{ m}^3/\text{s}$ poređano u opadajućem nizu

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analiziran uticaj hidrauličkog preoblikovanja korita reke na režim pronosa i pojavu istaložavanja nanosa na potezu od Železničkog do Kamenog mosta.

U simulacionom modelu HEC-RAS je izvršena hidraulička analiza zatečenog stanja i 12 različitih varijanti preoblikovanja rečnog korita koje se razlikuju po širini korita u dnu i različitim visina forlanda, kao i analiza pronosa vučenog nanosa svih varijanti pomoću jednačine Majer-Peter-Milera.

Računski nivoi voda pokazali su da analizirana deonica nema dovoljnu propusnu moć za stogodišnje velike vode usled nedovršene regulacije i velikog suženja nizvodno od Železničkog mosta. U skladu sa tim, neophodno je preduzeti određene mere kako bi se opasnost od izlivanja vode smanjila na najmanju moguću meru.

Povećanje uspora u odnosu na postojeće stanje korita koji se javlja pri velikim vodama uzvodno od Kamenog mosta usled preoblikovanja korita za sve varijante na analiziranoj deonici je neznatno u odnosu na zatečeno stanje i iznosi od 12-19 cm, u zavisnosti od veličine proticaja.

Na osnovu sistematizacije, obrade i analize podataka o pronosu vučenog nanosa na predmetnoj deonici dolazimo do zaključka da hidrauličko preoblikovanje korita reke Nišave može imati pozitivne uticaje na smanjenje količine istaloženog nanosa.

Sužavanjem korita reke u dnu i izgradnjom forlanda na levoj i desnoj obali umesto postojećeg jednogubog formiralo bi se dvogubo korito. Analize su pokazale da bi se preoblikovanjem korita u dvogubo mogla smanjiti količina istaloženog nanosa za 52% u odnosu na zatečeno stanje.

Na taj način bi se produžio period između dva čišćenja korita reke od nanosa i sprudova. Sam proces čišćenja bio bi dodatno olakšan zbog postojanja forlanda, jer bi se u dvogubom koritu mehanizacija mogla lakše spustiti i kretati po delovima korita reke, što trenutno nije slučaj.

Dobijeni rezultati takođe pokazuju da bi uvođenje forlanda visine 2.6 m iste kao na deonici uzvodno od Kamenog mosta (analizirana Var 9), mogla da se formira još jedna šetačka zona pored reke u centralnom delu grada.

Rezultate dobijene u ovom istraživanju treba smatrati inicijalnim, tj. idejnim istraživanjima, kojima se pokazuje opravdanost nastavka daljih, tj. detaljnih istraživanja i definitivne provere najoptimalnijeg oblika korita i tačnije procene pronosa nanosa na predmetnoj deonici.

Za detaljnije analize i dobijanje preciznijih rezultata potrebno je izraditi detaljnije geodetske snimke zbog preciznije morfologije rečnog toka, izvršiti ispitivanje postavljanja različitih obloga na forlandima (kameni nabačaj, rolovani kamen, ručno slagani kamen zaliven cementnim malterom, niska trava) u cilju smanjenja otpora na deonici nizvodno od Železničkog mosta kao i na deonici između Železničkog i Kamenog mosta.

Potrebno je izvršiti i geomehanička ispitivanja o karakteristikama materijala u kome je formirano rečno dno uzimanjem uzoraka nanosa na više mesta i u laboratoriji izvršiti analize sastava i karakteristika nanosa kojima se formirale karakteristične granulometrijske krive nanosa na potezu od Železničkog do Kamenog mosta za potrebe određivanja karakterističnih prečnika nanosa.

Takođe bi bilo korisno uključivanje pejzažnih arhitekata radi uređenja korita na Nišavi nizvodno od Kamenog mosta, u skladu sa preporučenim oblikom korita u Varijanti 9, a sve u cilju estetskog oblikovanja korita i stvaranju prijatnih ambijentalnih uslova za boravak stanovništva u blizini reke.

LITERATURA

- [1] Babić Mladenović Marina: **Uređenje vodotoka**, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2018
- [2] Bhallamudi S. M., Chaudhry M. H.: **Numerical modeling of aggradation and degradation in alluvial channels**. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(9):1145–1164, 1991.
- [3] Brunner G. W.: **Hec-ras, river analysis system hydraulic reference manual. Technical Report CPD-69**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2010.
- [4] Bui M. D., Wenka Th., Rodi W.: **Depth-average numerical modelling of flow and sediment transport in the elbe river**. In *Proceedings of the 3rd conference on Hydrosience and Engineering*, Berlin, 1998.
- [5] Huang J., Borthwick A. G. L., Soulsby R. L.: **One-dimensional modelling of fluvial bed morphodynamics**. *Journal of Hydraulic Research*, 46(5):636–647, 2008.
- [6] Holly F. M., Rahuel J. L.: **New numerical/physical framework for mobile-bed modelling, part 1: Numerical and physical principles**. *Journal of Hydraulic Research*, 28 (5):401–416, 1990a.
- [7] Holly F. M., Rahuel J. L.: **New numerical/physical framework for mobile-bed modelling, part 2: Test applications**. *Journal of Hydraulic Research*, 28(5):545–564, 1990b.
- [8] Išić Mirjana: **Linijnski model interakcije vode i nanosa u mreži prirodnih vodotoka**. Doktorska disertacija, Građevinski fakultet Subotica, Univerzitet u Novom Sadu, Subotica, 2014
- [9] Muškatirović Dragutin: **Regulacija reka**, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999
- [10] Nagata N., Hosoda T., Muramoto Y.: **Numerical analysis of river channel processes with bank erosion**. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4):243–252, 2000.
- [11] Jovanović Miodrag: **Regulacija reka**, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2002
- [12] Jovanović Miodrag: **Regulacija reka**, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2008
- [13] Lazović Nerma, Hadžić Emina: **Odabir metode za proračunu opšte deformacije korita rijeke Željeznice**. *Vodoprivreda*, Vol. 50, 145-155, 2018
- [14] <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf> (21.12.2022)
- [15] Kapor Radomir: **Hidraulika**, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2015
- [16] Potić Olivera, Radivojević Dragan: **Osnovi hidrotehnike, zbirka rešenih zadataka**, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 1999
- [17] Spasojević M., Holly F. M. Jr.: **2-d bed evolution in natural watercourses – new simulation approach**. *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proceedings of the ASCE*, 116(4):425–443, 1990.

- [18] **Studija zaštite grada Niša od velikih voda Nišave i pritoka**, *Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ A.D. Zavod za uređenje vodnih tokova*, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, Beograd, 2002
- [19] Wu W., Vieira D. A.: **One-dimensional channel network model cche1d version 3.0 - technical manual**. *Technical Report NCCHE-TR-2002-01, National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, 2002.
- [20] Yang C. T., Simoes F.J.M.: **Gstars computer models and their applications, part i: theoretical development**. *Journal of Sediment Research*, 23(3):197–211, 2008
- [21] Yousef Hassanzadeh: **Hydraulics of sediment transport**. *Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran*, 2012

primljen: 06.01.2023.
korigovan: 15.01.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 711.4:502.131.1

ZNAČAJ KONCEPTA KOMPAKT GRADA U KREIRANJU ODRŽIVE URBANE SREDINE

**Magdalena Slavković¹
Ljiljana Vasilevska²**

Rezime

Koncept Kompakt grada predstavlja paradigmu današnje urbanističke teorije i prakse. Viđen je kao alternativa gradu sprolu i kao efikasno rešenje problema koji proističu iz neracionalnog širenja gradske teritorije. U ovom radu će biti objašnjeni principi koncepta i politike Kompakt grada i njegov značaj u kreiranju održive urbane sredine. Održivost urbane sredine se posmatra sa aspekta globalnih promena i izazova, pre svega klimatskih promena i rapidne urbanizacije, a principi Kompaktnog grada sa aspekta potencijala i ograničenja njihove primene u konkretnim urbanim situacijama.

Ključne reči: *kompakt grad, održivost, model, politika, urbana sredina*

THE IMPORTANCE OF THE COMPACT CITY CONCEPT IN SHAPING A SUSTAINABLE URBAN ENVIRONMENT

Abstract

The Compact City concept represents a paradigm of contemporary urban theory and practice. It was seen as an alternative to the sprawling city and as an effective solution to the problems arising from the irrational expansion of the city's territory. This paper explains the principles of the Compact City concept and policy and their importance in creating a sustainable urban environment. The sustainability of the urban environment is viewed from the perspective of global changes and challenges, primarily climate change and rapid urbanization, while the Compact City concept is viewed from the perspective of the potential and limitations of its application in specific urban situations.

Key words: *Compact City, Sustainability, Model, Policy, Urban Environment*

¹ MSc, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, magdalena.slavkovic@gaf.ni.ac.rs

² Dr, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, ljiljana.vasilevska@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Poboljšanje kvaliteta života u gradovima, smanjenje njihovog ekološkog otiska i prilagođavanje klimatskim promenama su tri osnovna izazova na globalnom nivou za čije se kanalsanje moraju naći društveno održiva i prihvatljiva rešenja [1]. U širim akademskim diskusijama o mogućim solucijama, u poslednjih nekoliko decenija razvijeno je više urbanističkih koncepata. Svaki od njih je zasnovan na paradigmi održivog urbanog razvoja, a razlike proizilaze iz istraživačkog diskursa, tj. iz razvojnih i strukturnih komponenata održivog razvoja kojima pojedini koncepti daju primat. I dok su neki od njih ekološki orijentisani i fokusirani na integraciju prirode i prirodnih procesa u izgrađenim područjima, baveći se društvenim izazovima kroz zaštitu, održivo upravljanje i obnovu prirodnih i modifikovanih ekosistema [2][3], drugi koncepti su odraz neo-tradicionalnog planiranja, koje pokušava da postigne ravnotežu između raznovrsnih urbanih sadržaja (1), socio-ekonomskih i ekoloških komponenti razvoja (2) i urbanih formi (3). Najpoznatiji među njima su: Novi urbanizam (*New Urbanism*), Kompakt grad (*Compact City*) i Tranzitno orijentisan razvoj (*Transit Oriented Development - TOD*) [4] [5] [6]. Ovi koncepti su fokusirani na održivi urbani razvoj i obrasce fizičko-funkcionalne organizacije grada na makro nivou koji su zasnovani na sledećim principima: 1) mešovita upotreba zemljišta i mešovita socijalna struktura (*mix-use* princip), 2) kompaktna fizička struktura i veće gustine naseljenosti, 3) tradicionalna forma susedstva (*traditional neighbourhood design* princip), 4) pešački prijateljski nastrojeno okruženje (*pedestrian friendly* princip), 5) oslanjanje na sisteme javnog gradskog prevoza u formiranju urbanog okruženja, 6) zeleni transport (*eco friendly* princip) itd. Razlike između koncepata uglavnom proizilaze iz stepena značaja koji neki od navedenih principa ima u okviru svakog od njih.

Koncepti su dobili na značaju ne samo u okviru akademskih debata, već i u praksi mnogih zemalja, pre svega zahvaljujući razvoju modela i instrumenata za njihovu operacionalizaciju i aktivnu primenu u kreiranju strategija i politika urbanog razvoja, kao i u okviru urbanističkog planiranja i projektovanja. Uprkos razlikama, koncepti su usko povezani, delimično se preklapaju, a delom dopunjuju, pa ih je često veoma teško precizno razlikovati. Tome svakako doprinose i širine njihovih definicija, višestruki načini opisivanja pripadajućih pojmova i principa, slični metodološki i planerski instrumentarij, kao i prisustvo širokog spektra zainteresovanih aktera koji ih promovišu.

Velika pažnja u okviru koncepata je usmerena na odnos između urbane forme i održivosti, a mnogobrojne diskusije sugerišu da će forma (1) i gustina naseljenosti i izgradjenosti grada (2) imati velike implikacije po njegovu budućnost. Ovaj odnos je posebno u fokusu koncepta Kompakt grada, koji podržava primenu kompaktnije fizičke strukture i odgovarajućih urbanih formi u planiranju novih i obnovi postojećih urbanih struktura u cilju njihove dugoročne održivosti. Kompakt grad je i u teoriji i u praksi viđen kao alternativa gradu sprolu i kao efikasno rešenje društvenih, ekonomskih i ekoloških problema koji proističu iz neracionalnog širenja gradske teritorije. Koncept ima veliki broj pristalica, ali su istovremeno prisutne i mnogobrojne nedoumice i debate

vezane za krajnje koristi i mogućnosti njegove primene. Iz tog razloga, u ovom radu će biti analizirane osnovne odrednice i principi koncepta i modela Kompakt grada i značaj njegove primene. U skladu sa tim, osnovni istraživački ciljevi su:

- Analizirati i istražiti mogućnosti doprinosa modela i politike kompakt grada urbanoj održivosti
- Istražiti mogućnosti i ograničenja primene modela kompakt grada

Održivost urbane sredine je u radu posmatrana sa aspekta globalnih promena i izazova, pre svega klimatskih promena i rapidne urbanizacije, a principi koncepta i modela Kompaktnog grada sa aspekta potencijala i ograničenja njihove primene u konkretnim urbanim situacijama.

2. METODOLOGIJA

U analizi ključnih odrednica koncepta Kompakt grada, kao i u ispitivanju mogućnosti i ograničenja primene modela i politike kompakt grada kao dominantnog pristupa održivom urbanom razvoju, metodološki okvir istraživanja se zasniva na analitičkom pristupu koji se oslanja na metod deskripcije, analize i komparativne analize.

Iako konceptualno identični, *kompakt grad* i *kompaktni urbani razvoj* su različiti pristupi u smislu prostornog skaliranja - kompakt grad je politički pristup urbanom razvoju i urbanoj formi na makro urbanom nivou, tj. u razmeri metropolitanske regije, dok se kompaktni urbani razvoj obično odnosi na razvoj grada na mikro urbanom nivou, najčešće u razmeri susedstva. Kompaktan urbani razvoj može stvoriti "kompaktnost" u delu grada, ali ne i na nivou celog grada. Ne umanjujući značaj kompaktnog urbanog razvoja, fokus istraživanja u ovom radu je na kompakt gradu kao modelu i politici održivog urbanog razvoja, pa su i ostali segmenti istraživanja podređeni ovom opredeljenju.

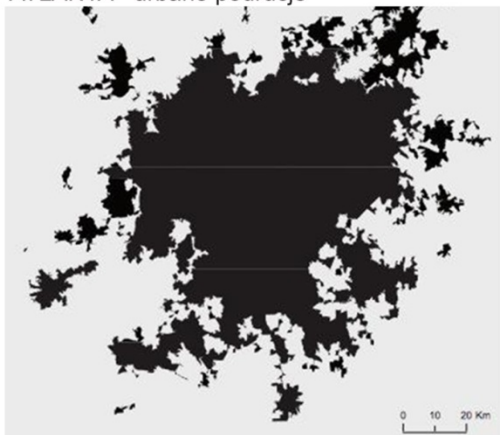
3. KOMPAKT GRAD – OSNOVNE ODREDNICE

Zasnovan na održivosti, terminu koji se prvi put javio 1972. godine u okviru Rimskog kluba, pojam kompakt grad su prvi put upotrebili 1973. godine Dantzig i Saaty [7], dva matematičara čija je utopijska vizija bila vođena željom za efikasnijim korišćenjem resursa, objašnjavajući potrebu i karakteristike zgušnjavanja na osnovu tri elementa: urbanog oblika, prostora i društvenih funkcija. Nastanak samog koncepta se vezuje za Evropu i rane 1990-te [8]. Ukorenjen u društvenom konsenzusu o suštinskom značaju održivog razvoja, koncept je razvijen pod okriljem ideje o održivom urbanističkom planiranju i održivim modelima urbanog razvoja. U mnogobrojnim debatama i strateškim dokumentimata koji su iz njih proizašli, iskazani su jaki argumenti u prilog viđenju kompakt grada kao najodrživije urbane forme [9]. U dokumentu *Zelena knjiga o urbanoj sredini* [10] se još 1990. godine intenzivno promovise kompakt grad kao najodrživiji urbanistički pristup.

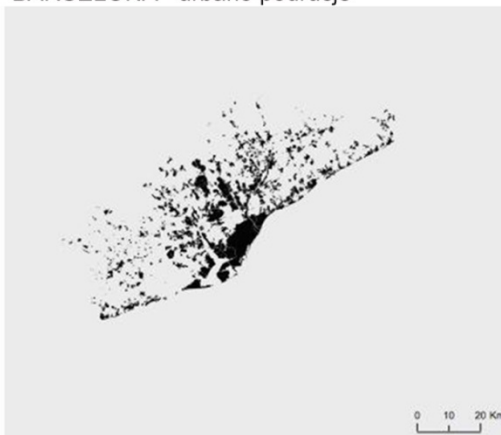
Iako u literaturi ne postoji njegova jedinstvena definicija, većina se oslanja na iste ključne odrednice kompakt grada ili, kako se u literaturi takođe naziva, *kompaktnog grada* ili *grada kratkih razdaljina*. Prema Burton-ovoj [11], pod

kompakt gradom se podrazumeva "grad relativno velike gustine, mešovite namene, zasnovan na efikasnom sistemu javnog prevoza i dimenzijama koje podstiču hodanje i vožnju biciklom". Kompakt grad se definiše i kao grad sa "velikom gustom i mešovitom upotrebom zemljišta, bez dodatnog širenja teritorije" [12]. Imajući u vidu i ostale definicije, može se reći da je kompakt grad istovremeno koncept i model održivog urbanog razvoja koji promovise intenzivnije i efikasnije korišćenje gradskog zemljišta zasnovano na primeni sledećih principa: 1) kompaktnije fizičke strukture (na različitim urbanim nivoima); 2) relativno veće gustine naseljenosti; 3) višenamenskog korišćenja zemljišta (*mix-use* princip); 4) javnog gradskog saobraćaja kao primarnog vida transporta; 5) kratkih unutargradskih distanci (*pedestrian and bike-friendly* princip); 6) pešački prijateljski naklonjenog okruženja (*pedestrian-friendly* princip); i 7) ekološki prijateljski naklonjenog okruženja (*eco-friendly* princip).

ATLANTA - urbano područje



BARCELONA - urbano područje



Metro linije	Pokazatelji	Atlanta	Barcelona
	- Broj stanovnika (2014.)	5,3 miliona	5,1 miliona
	- Urbano područje	4280 km ²	162 km ²
	- Dužina metro linija	74 km	99 km
	- % učešće stanovništva koje živi u radijusu od 600m od stanice metroa	4%	60%
	- % učešće putovanja metroom	4,5%	30%
	- Godišnja emisija CO ₂ p.c. (saobraćaj)	6,9 tona	1,1 tona

Slika 1. Sprol grad vs Kompakt grad. Primer Atlante i Barselone - komparativni prikaz

izvor: autori, na osnovu https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/nho1m4/atlanta_vs_barcelona_urban_sprawl_environmental/; <https://usa.streetsblog.org/wp-content/uploads/sites/5/2014/09/diagram-barcelona.gif>

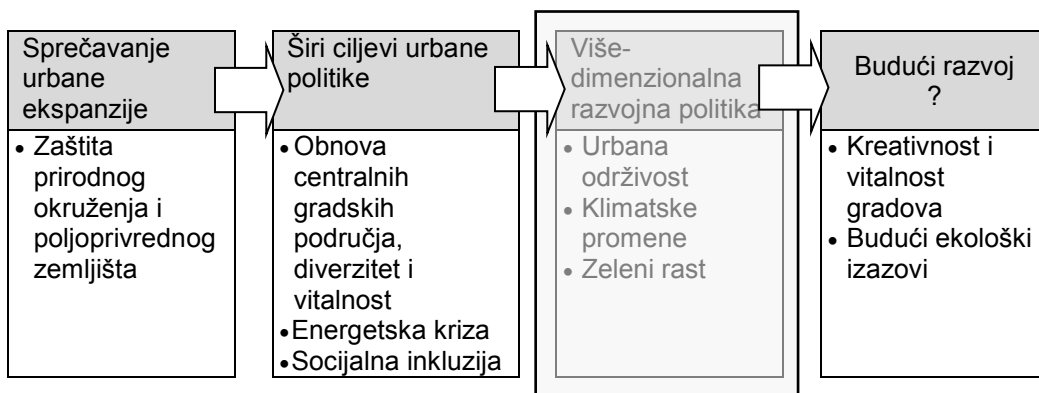
Koncept je vrlo brzo prihvaćen i operacionalizovan u mnogim zemljama kroz strategije i politike urbanog razvoja. Britanska vlada je još 1994. godine u svom osnovnom razvojnom dokumentu *PPG 13* [13] u fokus politike održivog razvoja stavila urbanu kompaktnost. Holandska vlada je takođe definisala kompaktnost kao centralni element njene politike održivog razvoja, dok je u Norveškoj od

strane centralnih vlasti inicirana politika zgušnjavanja/densifikacije. U poslednjoj deceniji je kompakt gradu dodeljena vodeća uloga i u realizaciji OECD ciljeva zelenog rasta koji su definisani u okviru *Strategije zelenog rasta*.

Može se reći da danas model kompakt grada predstavlja globalnu paradigmu održivog urbanizma. Naime, veliki deo stručne javnosti smatra da je kompakt grad održiviji tip naselja od sprol grada iz više razloga [14] - najpre, njegovi stanovnici su manje zavisni od individualnog automobila, ulaganja u infrastruktorno opremanje su niža, a sa smanjenjem korišćenja individualnih vozila i skraćivanjem unutargradskih distanci smanjuje se i emisija CO₂, tj. smanjuje se ekološki otisak grada (Slika 1). Takodje, smatra se da kompakt grad pruža više mogućnosti za realizaciju različitih vidova kulturnih dešavanja i socijalnih interakcija velikom broju stanovnika i, u krajnjoj liniji, poboljšava kvalitet svakodnevnog života.

4. KOMPAKT GRAD I URBANA ODRŽIVOST

Koncept i model kompakt grada se vremenom razvijao i evoluirao. Tako je od urbane politike koja je fokusirana na kontrolu urbanog rasta, tj. na zaštitu životne sredine i poljoprivrednog zemljišta od neracionalnog širenja gradske teritorije, koncept vremenom dobio novo značenje i ciljeve i transformisao se u razvojnu politiku koja uključuje uštedu energije, ekonomsku i socijalnu vitalnost urbane sredine i rešavanje/ublažavanje klimatskih promena. Stoga se danas kompakt grad smatra višedimenzionalnim pristupom i politikom koja pokriva širok spektar ciljeva urbane održivosti (Slika 2).



Slika 2. Evolucija koncepta kompakt grada

U brojnim izveštajima UN–Habitata i drugih međunarodnih organizacija [15] [16] [17] se tvrdi da model i politika kompakt grada imaju pozitivne efekte ne samo po intenziviranje razvoja i aktivnosti, stvaranje granica urbanom rastu, podsticanje mešovite upotrebe zemljišta, jačanje sistema javnog prevoza i povećanje kvaliteta urbanističkog planiranja i projektovanja, već pozitivno utiču i na efikasnost resursa, ekonomiju, zdravlje građana, socijalnu koheziju i kulturnu dinamiku, tj. na održivi razvoj grada.

U poslednjoj deceniji je kompakt gradu dodeljena vodeća uloga i u realizaciji OECD ciljeva zelenog ekonomskog rasta koji su definisani u okviru *Strategije zelenog rasta*. U dokumentu se naglašava težnja ka istovremenom ekonomskom

rastu i očuvanju životne sredine, tj. ka održivom razvoju, pri čemu je kompakt grad viđen kao odgovarajući koncept i model koji može da podrži realizaciju ciljeva strategije jer predstavlja potencijalan efikasan odgovor na narastajuće globalne izazove i probleme kao što su rapidna urbanizacija i klimatske promene.

Ipak, mnogobrojna istraživanja ukazuju da su prednosti kompakt grada daleko od izvesnih i zagarantovanih. U praksi su i dalje prisutne nedoumice i pitanja na koja donosioci odluka i planeri pokušavaju da nađu odgovore u nameri da stvore uspešan i održiv model urbanog razvoja. Pored nedoumica vezanih za "univerzalnost" koncepta, većina pitanja, pa i kritika kompakt grada, se upravo odnosi na nepredvidivost posledica i efekata njegove primene po različite aspekte održivog urbanog razvoja, ali i po njihovo integrisanje.

Tabela 1. Doprinos kompakt grada urbanoj održivosti

Odretenica/princip kompakt grada	Doprinos urbanoj održivosti		
	Ekološke koristi	Društvene koristi	Ekonomске koristi
1. Skraćivanje unutargradskih distanci	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjenje emisije CO₂ • Smanjenje zagađenja izazvanog upotrebom individualnih automobila 	<ul style="list-style-type: none"> • Veća pristupačnost sadržajima i uslugama zbog nižih cena transporta i kraćih distanci 	<ul style="list-style-type: none"> • Veća produktivnost zbog skraćanja vremena potrebnog za svakodnevno putovanje • Razvoj zelenih tehnologija i novih radnih mesta
2. Manja zavisnost od individualnog automobila	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjenje emisije CO₂ • Smanjenje zagađenja izazvanog upotrebom individualnih automobila 	<ul style="list-style-type: none"> • Niži troškovi transporta • Veća mobilnost stanovnika koji nemaju automobil • Pобољшanje zdravlja ljudi zbog pešačenja ili vožnje biciklom 	<ul style="list-style-type: none"> • Razvoj zelenih tehnologija i novih radnih mesta
3. Optimizacija korišćenja zemljišta i jačanje urbano-ruralnih veza	<ul style="list-style-type: none"> • Očuvanje poljoprivrednog zemljišta i biodiverziteta • Smanjenje emisije CO₂ zbog kraćih distanci za dostavu poljoprivrednih proizvoda 	<ul style="list-style-type: none"> • Veći stepen kvaliteta življenja zbog povećanja broja i vrsti rekreativnih aktivnosti i sadržaja 	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomski razvoj urbanih i ruralnih područja – urbana poljoprivreda, obnovljivi izvori energije, nova radna mesta

Izvor: *Compact City Policies: A Comparative Assessment, OECD Green Growth Studies.2012.* <http://dx.doi.org/10.1787/9789264167865-en>

U diskusjama o značaju i ulozi kompakt grada posebno se potencira mogućnost doprinosa ekonomskom i ekološkom aspektu održivosti koji se, pre svega, sagledavaju kroz prizmu Zelenog ekonomskog rasta [18], ali i kroz integraciju aktuelnih ekološki orijentisanih pristupa i, mnogo ranije pozicioniranu, politiku Zelenog pojasa [19]. U tom smislu, smatra se da

kompakt grad ima potencijal da generiše i podržava ekonomski rast kroz efikasniju organizaciju javnih usluga i promociju aglomeracione ekonomije, istovremeno smanjujući ekološki otisak gradova, između ostalog, uvođenjem muktifunkcionalnih zelenih, rekreativnih i otvorenih površina.

Ilustracije radi, u Tabeli 1 su prikazane ekološke, društvene i ekonomske koristi primene samo nekih od odrednica i principa kompakt grada, tj. moguć i/ili očekivan doprinos kompakt grada urbanoj održivosti.

Pored ključnih karakteristika i doprinosa kompakt grada urbanoj održivosti, OECD je 2012. godine u dokumentu *Politika Kompakt grada: Komparativna procena* [20] definisao elemente obrazca razvoja kompakt grada i smernice za primenu koncepta u urbanističkoj i planerskoj praksi, odnosno za formiranje razvojnih politika i strategija zasnovanih na modelu kompakt grada. U dokumentu je navedeno da se obrazac razvoja kompakt gradova zasniva na tri ključna elementa: 1) veća gustina naseljenosti; 2) sistemi javnog gradskog prevoza; i 3) pristup lokalnim javnim uslugama i servisima.

Tabela 2. Ključne strategije i sub-strategije modela i politike kompakt grada

Ključne strategije	Sub-strategije
1. Definirati set eksplicitnih ciljeva	<ul style="list-style-type: none"> • Uspostaviti uslove za formiranje i primenu institucionalnog okvira nacionalne urbane politike • Ohrabriti strateško planiranje metropolitenskih oblasti
2. Podsticati gušću izgradnju po obodima urbanog tkiva	<ul style="list-style-type: none"> • Povećati efikasnost regulacionih mehanizama, mera i sredstava • Usmeriti kompaktan urbani razvoj u novoplanirana, <i>greenfield</i> područja • Propisati minimalne gustine naseljenosti u novoplaniranim područjima • Ojačati urbano - ruralno veze
3. Obnoviti postojeća, izgrađena područja	<ul style="list-style-type: none"> • Promovisati razvoj <i>brownfield</i> područja • Uskladiti politiku industrijskog razvoja sa politikom kompakt gradova • Regenerisati/obnoviti postojeća stambena područja • Promovisati tranzitno orijentisan razvoj u izgrađenim područjima (<i>TOD</i>) • Ohrabriti intenzivnije korišćenje postojećeg gradskog zemljišta i imovine
4. Povećati diverzitet i kvalitet življenja	<ul style="list-style-type: none"> • Promovisati višenamensko korišćenje zemljišta • Privući stanovnike i lokalne usluge u gradske centre • Promovisati usmeravanje investicija u javne prostore i negovati identitet prostora -"osećaja za mesto" • Promovisati pešački i biciklistički prijateljski nastrojeno okruženje
5. Unapred minimizirati negativne efekte	<ul style="list-style-type: none"> • Realizovati aktivnosti na suzbijanju saobraćajne gužve • Podsticati izgradnju pristupačnog stanovanja • Promovisati kvalitetan urbani dizajn • Ohrabriti ozelenjavanje izgrađenih područja

Izvor: OECD (2012), *Compact City Policies: A Comparative Assessment*, OECD Green Growth Studies. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264167865-en>

U dokumentu se, dalje, prepoznaje pet ključnih strategija i dvadeset sub-strategija za operacionalizaciju koncepta u praksi i formiranje urbanih politika koje su zasnovane na modelu kompakt grada. One su prikazane u Tabeli 2.

Pored definisanih strategija na generalnom nivou, smatra se da politiku kompakt gradova treba prilagoditi lokalnim i specifičnim potrebama. Na primer, urbanim regionima koji su u demografskoj ekspanziji neophodne su mere i regulatorni mehanizmi kako bi se sprečilo nekontrolisano urbano širenje i neracionalno zauzimanje poljoprivrednog zemljišta, za razliku od gradova u opadanju, koji zahtevaju sasvim drugačije mere koje se odnose na privlačenje stanovništva i zaustavljanje negativnih demografskih promena.

Za merenje rezultata primene urbane politike zasnovane na konceptu kompakt gradova preporučuje se primena dve vrste indikatora: 1) indikatori koji reprezentuju "kompaktnost" (gustina, blizina/distance, sistemi javnog prevoza, pristupačnost lokalnim uslugama i poslovanju) i 2) indikatori koji mere karakteristike kompakt gradova u odnosu na ostale gradove koji ne primenjuju ovu urbanu politiku.

5. DISKUSIJA

Uprkos pozitivnim rezultatima politike kompakt gradova u pojedinim zemljama i gradovima kao što su, primera radi, Amsterdam, Kopenhagen i Barselona, postoji zabrinutost zbog neizvesnih dugoročnih efekata primene politike, kao i zbog potencijalnih štetnih efekata po životnu sredinu ili društvenu koheziju, uključujući i moguće sukobe interesa. Takođe, prisutne su i nedoumice u vezi sa univerzalnošću ovog modela održivog razvoja, odnosno mogućnostima i ograničenjima njegove primene.

Za potrebe ovog rada biće razmotrena i diskutovana neka od ključnih pitanja i nedoumica vezanih za viđenje i primenu kompakt grada kao odgovarajućeg modela i politike održivog razvoja u različitim urbanim situacijama:

- *Populaciona veličina grada je ograničavajući faktor za primenu modela kompakt grada*

Kompakt grad se najčešće povezuje sa populaciono i prostorno manjim gradovima. Međutim, praksa je pokazala da i veliki gradovi mogu biti "kompaktni" ukoliko su njihove razvojne karakteristike bliske osnovnim odrednicama koncepta (mnogi istorijski gradovi, poput Pariza ili Sant Petersburga imaju odlike kompaktnosti). Štaviše, potreba za politikom kompakt grada je izraženija u megagradovima (sa populacijom preko 10 miliona stanovnika) nego u manjim gradovima, jer je i urbana ekspanzija intenzivnija, kompleksnija i zahtevnija za institucionalno i plansko usmeravanje i rešavanje.

- *Model kompakt grada može biti primenjen samo na monocentričnu urbanu strukturu, dok za policentričnu urbanu strukturu nije odgovarajući*

Kompakt grad se obično povezuje sa monocentričnom urbanom strukturom i o njemu se često govori kao alternativni gradu sprolu i urbanom širenju. Međutim, kako je danas sve prisutnija policentrična urbana struktura, postavlja se pitanje primenljivosti modela u ovakvom urbanom kontekstu. Pristalice kompakt grada smatraju da na metropolitenskom nivou politika kompakt grada ne pretpostavlja niti favorizuje nijedan specifičan urbani oblik, bilo da je

monocentričan ili policentričan, odnosno da urbana aglomeracija ne mora nužno da se zasniva na kontinuiranom urbanom tkivu da bi model kompakt grada bio odgovarajući. Policentrično metropolitensko područje može da ima karakteristike kompakt grada ili može da se razvija primenom politike kompakt grada ukoliko prostorna disperzija nije preširoka, ukoliko su njegovi segmenti povezani sistemima javnog gradskog prevoza i ukoliko na mezo i mikro urbanom nivou imaju odlike kompakt grada ili potencijale za njihovu primenu. Sa druge strane, monocentrični kompakt megagrad bi mogao da prouzrokuje negativne eksterne efekte poput saobraćajnih gužvi ili zagađenja vazduha, i na taj način poništi prednosti kompakt grada. Zbog toga se, u konkretnim urbanim kontekstima, smatra da je policentrični megagrad čak poželjnija urbana struktura za primenu politike kompakt grada.

- *Gusto izgrađena područja kompakt grada negativno utiču na kvalitet životne sredine i smanjuju ekološki komfor*

Često se tvrdi da kompaktnija fizička struktura i veće gustine naseljenosti mogu da imaju potencijalne štetne efekte, pre svega, po kvalitet vazduha. Smatra se da zagušenja u saobraćaju, smanjenje zelenih površina, ograničenja u načinu deponovanja otpada i smanjenje mogućnosti za reciklažu mogu da dovedu do većeg nivoa zagađenja vazduha. Pored toga, velika koncentracija stanovništva i aktivnosti može da poveća lokalnu potražnju za energijom, što može opteretiti postojeću infrastrukturu i zahtevati dodatna (često visoka) ulaganja u njeno proširenje. Takođe, u pojedinim slučajevima kompakt grad može pogoršati efekat toplotnog ostrva (temperaturne razlike između gradskih područja i okolnih ruralnih se kreću od 3,5°C-4,5°C, pa sve do 10°C kod velikih urbanih aglomeracija). Primera radi, grupa urbanih planera je procenila da je Parizu potrebno za 30% više šuma u odnosu na postojeće stanje da bi se efekat toplotnog ostrva smanjio za 2°C [20]. Kompakt grad je takođe podložniji prirodnim katastrofama kao što su zemljotresi, cunami, poplave i požari. Pojedini autori čak smatraju da politika kompakt grada do sada nije ni razmatrala rizike od poplava.

Čini se da je komponenta ekološke održivosti politike kompakt gradova najviše upitna, pa se očekuje njena evolucija u pravcu iznalaženja rešenja za prisutne probleme, kako bi kompakt gradovi postali otporniji na klimatske promene. Takođe, smatra se da kvalitetno urbanističko i arhitektonsko projektovanje može ublažiti negativne poslednice "kompaktnosti" po kvalitet životne sredine i može povećati stepen ekološkog komfora.

- *Veće gustine i kompaktnija fizička struktura vode smanjenju zelenih, otvorenih i rekreativnih prostora*

Mnoge studije tvrde da velika gustina može dovesti do gubitka zelenila, otvorenog i rekreativnog prostora, gubitka privatnosti i do redukcije društvenih interakcija [21][22]. Ipak, većina njih zaključuje da gustina sama po sebi nije problem, već način na koji se ona kanališe i prostorno-funkcionalno oblikuje u procesu urbanističkog i arhitektonskog projektovanja. Negativna percepcija javnosti, kao posledica izvedenih nekvalitetnih urbanističkih rešenja, je vrlo često razlog protivljenja politici kompakt grada. Sa druge strane, primeri dobre prakse zasnovani, primera radi, na stanovanju niske spratnosti-velike gustine,

primeni različitih tipova zelenih površina (zeleni zidovi, zeleni krovovi, džepni parkovi) i integrisanih pristupa kanalisanju kišnog oticaja (kišne bašte, porozno popločanje, posude za sakupljanje kišnice)[23] demonstriraju kako je i u uslovima veće fizičke kompaktnosti moguće postići zadovoljavajuće učešće zelenila, rekreativnih i otvorenih prostora, tj. ekološki komfor i socijalne interakcije.

- *Urbana morfologija kompakt grada je uniformna i zasniva se isključivo na primeni zgrada visoke spratnosti kao dominantnom elementu fizičke strukture*

Kompakt grad se često povezuje sa visokospratnicama i urbanim pejzažem koji je karakterističan za centralna područja megagradova i metropolitenskih područja. Međutim, kompaktnija fizička struktura i veće gustine naseljenosti ne podrazumevaju po automatizmu samo zgrade visoke spratnosti. Mnogobrojna istraživanja, kao i primeri dobre prakse, pokazuju da se uz odgovarajući urbanističko-arhitektonski sklop i urbanističku kombinatoriku može postići kompaktna fizička struktura primenom različitih tipova zgrada i zgrada koje ne moraju biti visoke spratnosti. Naprotiv, primenom zgrada srednje i niske spratnosti (do 8 spratova) mogu se postići veće gustine nego primenom visokospratnica. Primera radi, jedna od studija [20] je pokazala da četvrti "Osmanovog" Pariza, sa zgradama spratnosti 6-7 spratova, imaju veću gustinu (indeks izgrađenosti 5,75) nego četvrti u Hong Kongu, sa zgradama spratnosti 20 i više spratova (indeks izgrađenosti 4,32).

Određeni stepen fleksibilnosti u izboru urbanih formi, tipova i spratnosti zgrada, tj. mogućnost otklona od urbanističke i arhitektonske uniformnosti je veoma važan argument u procesu promovisanja, prihvatanja i realizacije politike kompakt grada, jer se uz kvalitetno urbanističko i arhitektonsko projektovanje mogu kreirati urbane strukture velikog upotrebnog i oblikovnog potencijala, što istovremeno doprinosi formiranju prostornog identiteta i prepoznatljivosti grada ili njegovih pojedinih delova. Upravo zbog toga je urbanističko planiranje i projektovanje visoko rangiran princip koncepta, jer od ovih društvenih mehanizama regulacije prostornog razvoja umnogome zavisi uspeh primene modela i politike kompakt grada u praksi, pre svega u smislu doprinosa urbanoj održivosti.

6. ZAKLJUČAK

U odnosu na prvi cilj istraživanja - *analizirati i istražiti mogućnosti doprinosa modela i politike kompakt grada urbanoj održivosti*, nalazi istraživanja upućuju na zaključak da model i politika kompakt grada svakako mogu da doprinesu urbanoj održivosti. Iako ograničenja postoje, ne sme se zanemariti potencijal kompakt grada za generisanje održivog razvoja urbane sredine kroz sve tri komponente/stuba održivosti: ekonomski, socijalni i ekološki. Ekonomski rast se može generisati promovisanjem aglomeracione ekonomije i zelenog rasta, koji se zasniva na komplementarnosti ekonomskih i ekoloških aspekata održivosti. Takođe, politika kompakt grada može povećati stepen efikasnosti i dostupnosti javnih usluga i, na taj način, uticati i na socijalnu komponentu održivosti.

U odnosu na drugi cilj istraživanja - *istražiti mogućnosti i ograničenja primene modela kompakt grada*, nalazi ukazuju da se principi, model i politika kompakt grada mogu primeniti u mnogim urbanim situacijama, a da ograničenja u najvećoj meri proizilaze iz neizvesnih dugoročnih efekata primene politike, potencijalnih štetnih efekata po životnu sredinu ili društvenu koheziju, ali i iz konkretnog urbanog konteksta. Da bi se iskoristio potencijal politike kompakt grada, akademskoj zajednici i njenim kreatorima su potrebni jasni pokazatelji na osnovu kojih će zasnivati odluke, što upućuje na potrebu daljih istraživanja potencijala i ograničenja politika kompakt gradova, pogotovo što su ciljevi urbane održivosti višestruki i moraju se sagledati sveobuhvatno.

LITERATURA

- [1] **UN-Habitat Annual Report 2010**. UN-HABITAT, 2011.
- [2] Pauleit Stefan, Zölch Teresa, Hansen Rieke, Randrup Thomas Barfoed, Konijnendijk Cecil: **Nature- Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green**. In book: *Nature-Based Solutions to Climate Change adaptation in Urban Areas - Linkages between Science, Policy and Practice*. Edited by Nadja Kabisch, Jutta Stadler, Horst Korn, Alleta Bohn. Berlin: Springer Open. 29-49. 2017.
- [3] Vasilevska Magdalena, Vasilevska Ljijana: **Benefits of Synergy of Urban Green Infrastructure and Integrated Stormwater Management Approaches: Theoretical Perspective and Examples From Vienna**. *Facta Unversitatis: Series Architecture and Civil Engineering*, Vol. 7, No 2, 145 - 157. 2019.
- [4] Fulton William: **The New Urbanism: Hope or Hype for American Communities?**. Cambridge: Lincoln Institute for Land Policy. 1996.
- [5] Congres for the New Urbanism, Editor Emily Talen: **Charter of the New Urbanism**, Second Edition. McGraw-Hill. 2000.
- [6] Dittmar Hank, Ohland Gloria: **The New Transit Town: Best Practices in Transit Oriented Development**. Island Press. 2012.
- [7] Dantzig George, Saaty L. Thomas: **Comact City: A Plan for Liveable Urban Environment**. W.H. Freeman and Co., New York, 1973.
- [8] Fulford Charles: **The compact city and the market**. In Elizabeth Burton, Mike Jenks, Katie Williams (Editors): *The Compact City: A Sustainable Urban Form?*. Routledge, London, 1996.
- [9] Burton Elizabeth, Jenks Mike, Williams Katie (Editors): **The Compact City: A Sustainable Urban Form?**. Routledge, London, 1996.
- [10] **Green Paper on the Urban Environment – Communication from the Commission to the Council and the Parliament**. Commission of the European Communities (CEC), Brussels, 1990.
- [11] Burton Elizabeth: **The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminay Analysis**. *Urban Studies*, Vol. 37, No 11, 1969-2006. 2020.
- [12] Burton Elizabeth, Jenks Mike, Williams Katie: **Achhieving Sustainable Urban Form?**. Routledge, London, 2000.
- [13] UK Department of the Environment: **Planning Policy Guidance 13: Transport**. HMSO, London, 1994.
- [14] Newman Peter, Kenwothy Jeffrey: **Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence**. Island Press, 1999.

- [15] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. **World urbanization prospects. The 2014 revision.** New York, 2015. Dostupno na: <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- [16] OECD. **Cities and Climate Change.** OECD Publishing, Paris, 2010. Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en>.
- [17] United Nations Environment Programme (UNEP). **Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.** St-Martin-Bellevue, 2011.
- [18] OECD. **Towards green growth: A summary for policy makers.** OECD Publishing Paris, 2011. Dostupno na: <https://www.oecd.org/greengrowth/48012345.pdf>
- [19] Goode David: **Green Infrastructure Report to the Royal Commission on Environmental Pollution.** RCEP Urban Environment Report. 2006.
- [20] OECD Green Growth Studies: **Compact city policies: A Comparative Assessment.** OECD Publishing, 2012.
- [21] Morag Lindsay, Williams Katie, Dair Carol: **Is there room for privacy in the compact city?** *Built Environment*, 36, 28-47. 2010.
- [22] Raman Shibu: Designing a liveable compact city: physical forms of city and social life in urban neighbourhoods. *Built Environment*, 36, 63-80. 2010.
- [23] Vasilevska Magdalena, Vasilevska Ljiljana: **Višestruke koristi primene savremenih pristupa kanaliziranja atmosferskih voda na primeru stambenog naselja Augustenborg, Malmo.** *Nauka+Praksa*, 20, 13-19. 2017.

primljen: 18.01.2023.

UDK : 621.311.22:662.613.11(497.11)

korigovan: 14.02.2023.

prihvaćen: 28.02.2023. izvorni naučni rad 624.151.5:624.014.2(497.11)

MODELIRANJE TEMELJA ČELIČNE KONSTRUKCIJE ELEKTROFILTERSKOG POSTROJENJA TERMoeLEKTRANE U OBILIĆU

Nenad Stojković¹
Nemanja Marković²
Jelena Bijeljić³
Milan Protić⁴

Rezime

U radu je prikazano dispoziciono rešenje i detalji modelovanja temeljne konstrukcije elektrofileterskog postrojenja termoelektrane u Obiliću. Objekat se izvodi u okviru modernizacije iste radi smanjenja štetnih emisija u vazduh. Proračun temeljne konstrukcije je sproveden prema zahtevima Evrokoda 2 i 7. Izvršeno je poređenje proračuna sprovedenih pomoću dva različita komercijalna softvera, odnosno poređenje proračuna sprovedenih za različite tipove geometrijske diskretizacije realne konstrukcije u okviru matematičkog 3D modela.

Ključne reči: *plitko temeljenje, termoelektrana, elektrofiltri, čelična konstrukcija*

MODELLING OF THE FOUNDATION OF ELECTROSTATIC PRECIPITATOR STEEL STRUCTURE AT THE THERMAL POWER PLANT IN OBILIĆ

Abstract

The paper presents a layout and modeling details of the foundation of electrostatic precipitator facility of the thermal power plant in Obilić. The facility is being built as a part of the modernization project of the thermal power plant in order to reduce emissions of nitrogen oxide and dust into the air. Structural analysis of the foundation was carried out according to the requirements of Eurocode 2 and 7. A comparison of the calculation results from two different commercial software was performed, as well as a comparison of the results obtained for different types of geometric discretization of the real construction within the mathematical 3D model.

Key words: *Shallow Foundation, Thermal Power Plant, Electrostatic Precipitator, Steel Structure*

¹ Nenad Stojković, dr, profesor strukovnih studija, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija u Nišu, nenad.stojkovic@akademijanis.edu.rs

² Nemanja Marković, dr, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, nemanja.markovic@gaf.ni.ac.rs

³ Jelena Bijeljić, dr, viši predavač, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija u Nišu, jelena.bijeljic@akademijanis.edu.rs

⁴ Milan Protić, dipl.inž.građ., asistent, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija u Nišu, milan.protic@akademijanis.edu.rs

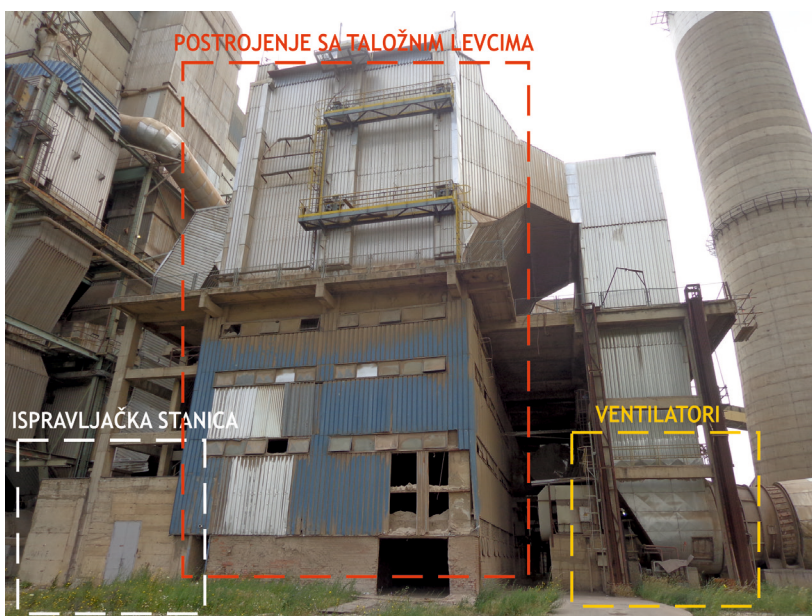
1. UVOD

U okviru studije [1] ukazano je na neophodnost modernizacije termoelektrane Obilić (Kosovo B), usled velike emisije štetnih materija u vazduh. Elektrostatički filteri postrojenja su inicijalno projektovani da imaju emisiju prašine od $260\text{mg}/\text{Nm}^3$, što nije u skladu sa zahtevima Evropske Direktive 2001/80/EC za velika postrojenja za sagorevanje [2]. Glavni cilj modernizacije je bio značajno smanjenje emisije natrijum-oksida (Na_2O sa $700\text{--}800\text{mg}/\text{Nm}^3$ na manje od $200\text{mg}/\text{Nm}^3$), i emisije prašine (sa trenutnih $300\text{--}700\text{ mg}/\text{Nm}^3$ na $20\text{ mg}/\text{Nm}^3$), uz poboljšanje efikasnosti postrojenja. Sam proces modernizacije je uključivao usvajanje i primenu novih tehnoloških rešenja, što je zahtevalo izgradnju novog elektrofilterskog postrojenja na mestu postojećeg. Projekat izgradnje novog elektrofilterskog postrojenja podrazumevao je rušenje dela postojeće armiranobetonske konstrukcije i izgradnju nove noseće konstrukcije od čelika.

Projekat modernizacije je finansiran iz EU fondova, odnosno instrumenta za predpristupnu pomoć (IPA). Izrada projektne tehničke dokumentacije poverena je kompaniji Engineering Dobersek GmbH iz Nemačke koja je sa konzorcijumom partnera (Hamon Thermal Europe S.A. i RJM International) bila zadužena za sve faze projektovanja. Proračun temelja glavne noseće konstrukcije elektrofilterskog postrojenja poveren je preduzeću Apokrifi iz Niša, koje je u saradnji sa autorima ovog rada definisalo koncept temeljenja i izvršilo proračun i kontrolu nosivosti konstrukcije temelja.

2. POSTOJEĆA KONSTRUKCIJA

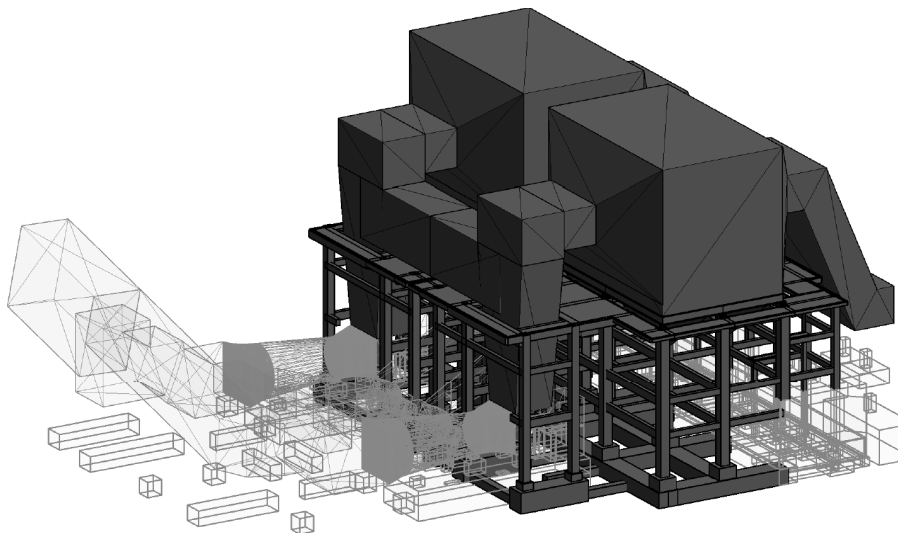
Postojeće elektrofiltersko postrojenje, koje je izgrađeno u sistemu skeletne armirano betonske konstrukcije, prikazano je na Slici 1.



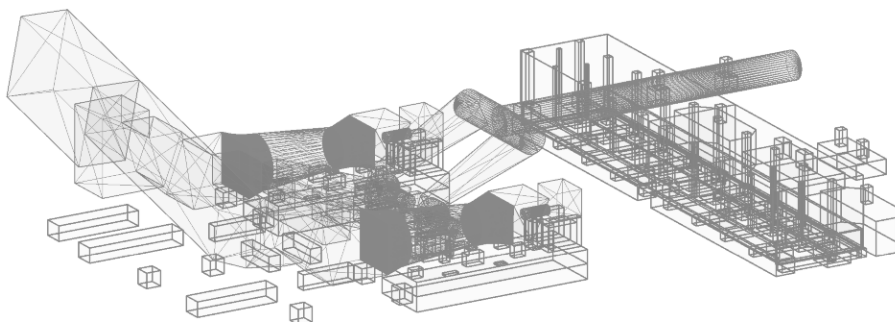
Slika 1. Postojeće elektrofiltersko postrojenje

Podaci o konstrukciji postojećeg objekta preuzeti su iz arhivskog projekta, odnosno planova oplata postojeće konstrukcije. Isti se sastoji is centralnog taložnog dela, ispravljačke stanice i dela sa ventilatorom za odvod dimnih gasova. Novi objekat se gradi na mestu centralnog dela postojećeg objekta, koji se pritom ruši do temelja. Širina postojećeg objekta je 35m. Dužina centralnog dela i dela ispravljačke stanice je 50m, dok je deo objekta za ventilaciju dimnih gasova dužine 36m. U vertikalnom smislu, objekat se sastoji iz dva dela. Donji deo, do kote +14.17, izveden je kao monolitna armiranobetonska konstrukcija. Na nju su montirani prihvatni levci sa pratećom opremom i tako formirana kompletna konstrukcija eletrofilterskog postrojenja visine 39m.

Postojeća konstrukcija je fundirana na dubini od 2,9m. Temeljna konstrukcija je koncipirana tako da je centralni deo objekta temeljen na temeljnim gredama međusobno spojenim tako da čine dva simetrična roštilja, sa čvorovima na mestu stubova. Ostali delovi objekta su temeljeni na temeljima samcima i sa centralnim delom povezani veznim gredama. Grede u centralnom delu su širine 2m i visine 1,5m, dok dimenzije temelja samaca variraju u zavisnosti od opterećenosti, pri čemu je visina temelja takođe 1,5m.



Slika 2. Postojeće elektrofiltersko postrojenje – deo objekta koji se ruši

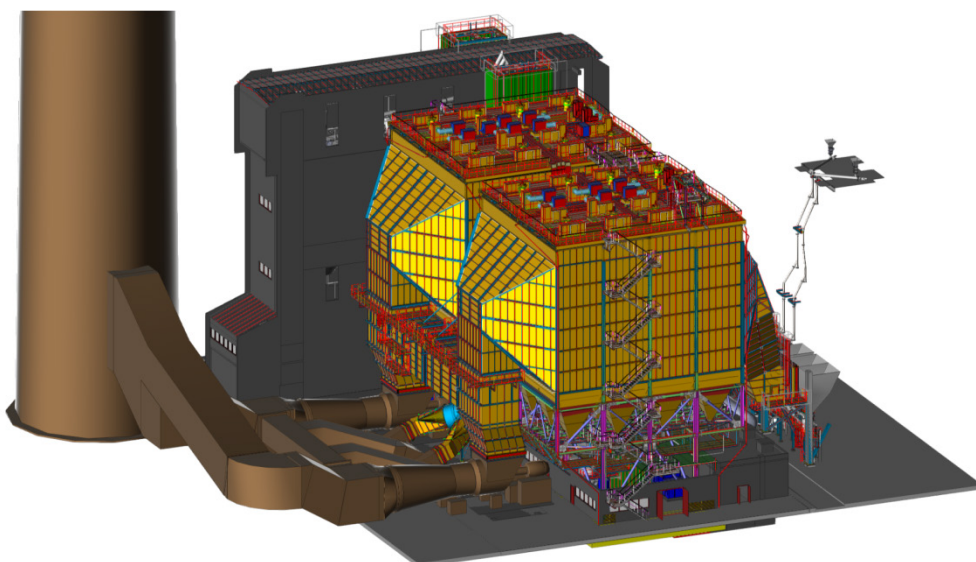


Slika 3. Postojeće elektrofiltersko postrojenje – deo objekta koji se zadržava

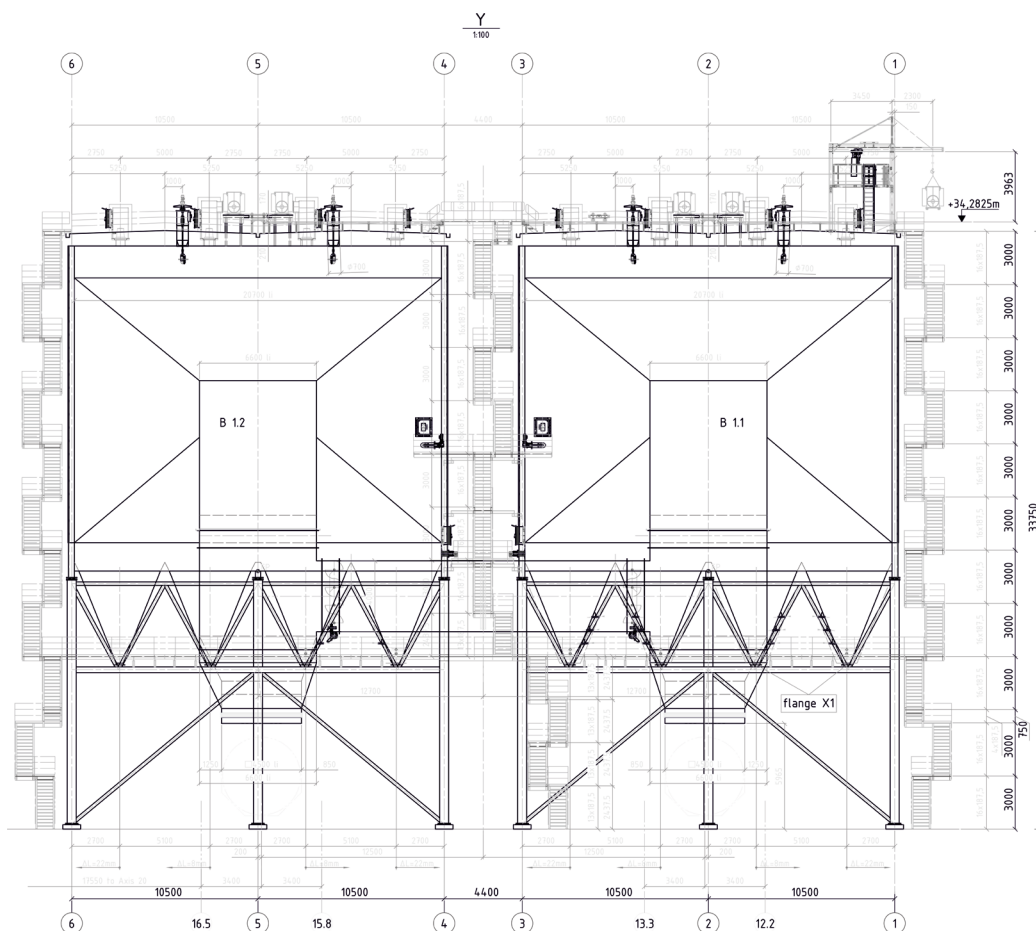
Projektom rekonstrukcije predviđeno je rušenje centralnog dela objekta i dela objekta sa ventilatorom za odvod dimnih gasova sa pripadajućim temeljima. Prizemlje ispravljačke stanice i njena temeljna konstrukcije se zadržavaju, dok se gornji deo konstrukcije ispravljačnice takođe ruši. Na slici 2 i 3 su prikazani delovi objekta koji su predviđeni za rušenje, odnosno delovi koji se zadržavaju u novoprojektovanom stanju.

3. NOVOPROJEKTOVANA KONSTRUKCIJA

Novoprojektovani objekat elektrofilterskog postrojenja, čiji je 3d model prikazan na Slici 4, sastoji se od dva identična, međusobno dilatirana, segmenta konstrukcije. Oba segmenta postavljena su na zajedničku temeljnu konstrukciju. U svakom od njih, glavna noseća konstrukcija se izrađuje od čelika i nosi po 16 prihvatnih levaka (bunkera), raspoređenih u 4 reda po 4 levka. Dužina celine koju čine oba segmenta objekta su objekta je 47m, širina 23m a visina 33m. Donji deo konstrukcije je uži, što je uslovljeno zadržavanjem određenih delova postojeće konstrukcije, odnosno nemogućnošću oslanjanja novoprojektovanog objekta na iste. Objekat se na temelje oslanja preko čeličnih stubova postavljenih u 3 podužne ose međusobno udaljene po 5,6m. Podužni raster stubova iznosi 10,5m, odnosno 4,4m na sredini objekta, između krajnjih stubova pojedinačnih segmenata konstrukcije. Podužni i poprečni presek konstrukcije su prikazani na slikama 5 i 6. U poprečnom smislu, od kote +9,16 noseća konstrukcija se prepušta za po jedno polje sa svake strane, kako bi se omogućilo postavljanje prihvatnih levaka u 4 reda. Stubovi, do nivoa prihvatnih levaka se izrađuju od složenih profila formiranih zavarivanjem dva upravno postavljena IPE600. U središnjoj podužnoj osi isti se formiraju od profila IPE500. Podužno i poprečno ukrućenje konstrukcije se vrši pomoću dijagonala izrađenih od profila CHS 323.9x10. Momentna veza stubova sa temeljnom konstrukcijom se ostvaruje pomoću ankera M42 i M36, dok se sila smicanja prenosi preko smičućeg elementa zavarenog za stub i ubetoniranog u vrat konstrukcije.

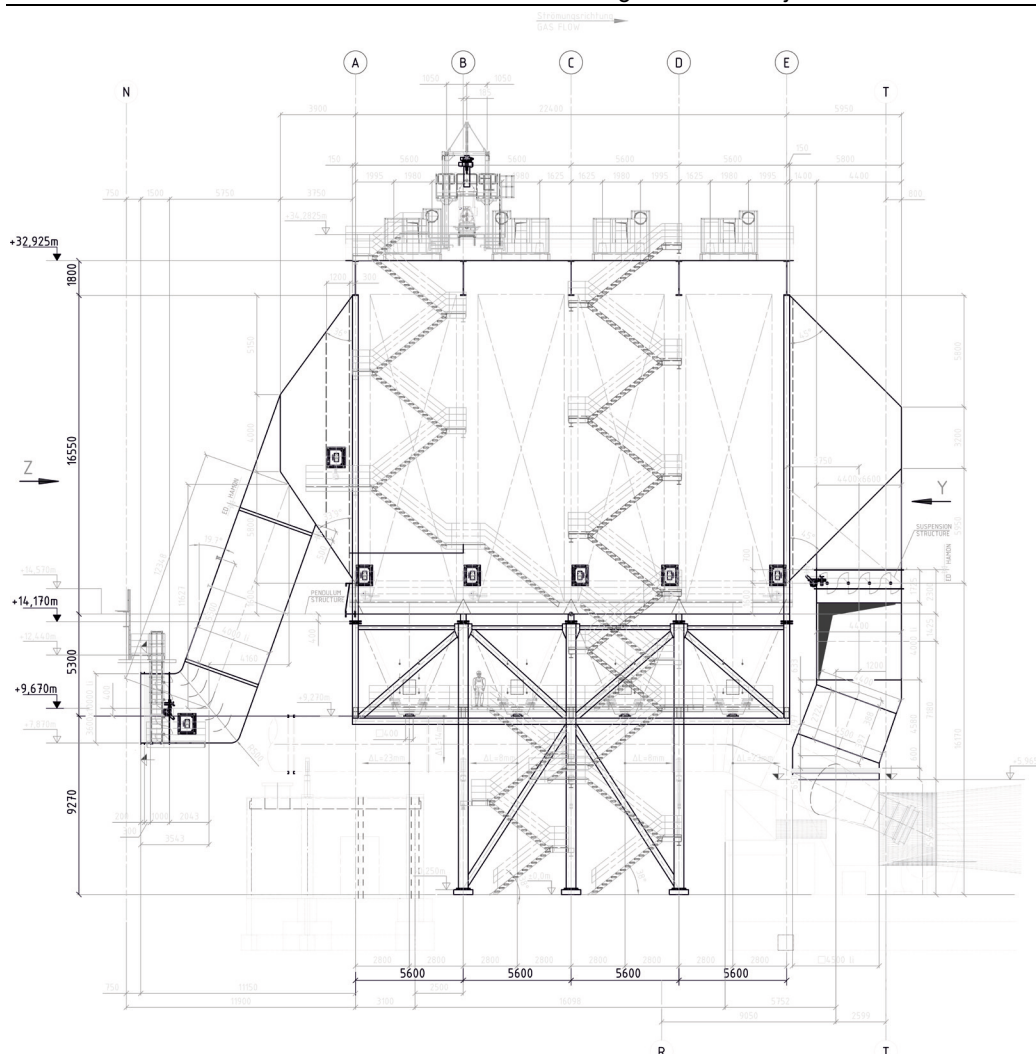


Slika 4. Novoprojektovani objekat elektrofilterskog postrojenja



Slika 5. Podužni presek novoprojektovane konstrukcije

Temeljna konstrukcija (Slika 7) se izvodi u vidu kombinovanog sistema plitkih temelja koji se formira od temeljnih ploča koje prihvataju stubove gupisane po horizontalnim osama i podužnih temeljnih traka širine 2m i visine 1m, koje povezuju temeljne ploče u podužnim osama konstrukcije. Dimenzije temeljnih ploča su 5x15,70m, a visina d=100cm. U središnjoj zoni, na spoju dva segmenta konstrukcije, zbog blizine stubova, dimenzije temeljne ploče su 9,4x15,70m. Neposredno ispod svakog čeličnog stuba postavljena su AB postolja osnove 200x200cm i visine 100cm. Povezani su u oba smera veznim gredama poprečnog preseka 70x100cm. Vezne grede i postolja se izrađuju direktno na temeljnim trakama i pločama i pored povezivanja nosača stubova (postolja) imaju funkciju dodatnog ukrućenja temeljne konstrukcije i ujednačavanja sleganja. U poljima između veznih greda postavljenih u dva pravca, izvode se podne ploče koje se ravnjaju sa gornjom površinom greda. Debljine podnih ploča su 20cm.



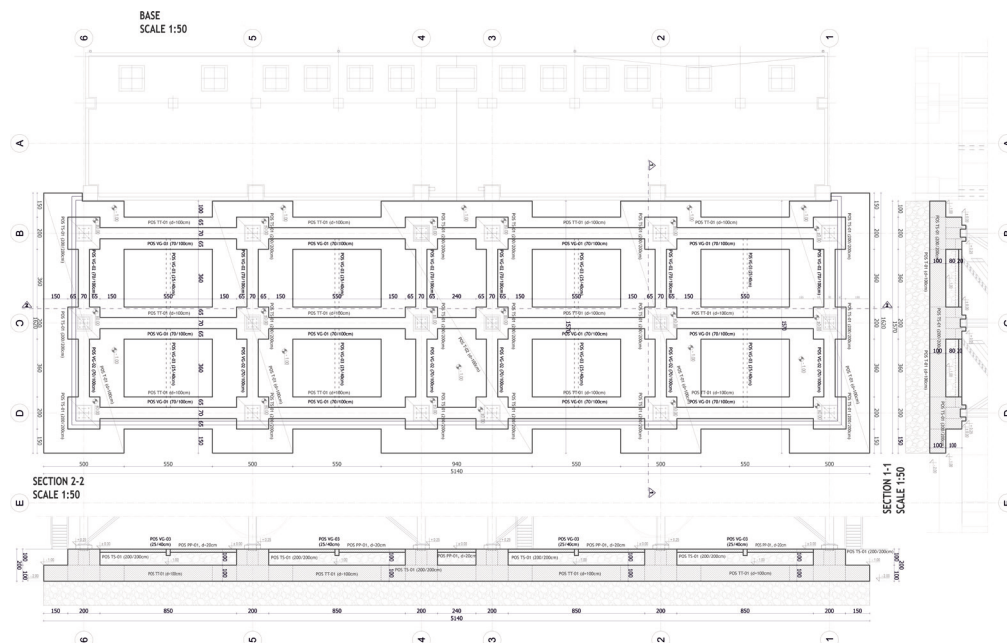
Slika 6. Poprečni presek novoprojektovane konstrukcije

4. MODELIRANJE TEMELJNE KONSTRUKCIJE

4.1. Geotehničke podloge

Konceptualno rešenje i proračun temeljne konstrukcije su urađeni u skladu sa nalazima iz geotehničkog elaborata urađenog od strane DGR „Geotecnika Nova“ iz Skoplja [3]. Geotehničkim elaboratom je predviđena mogućnost plitkog temeljenja uz zamenu gornjeg sloja tla, kako bi se povećala nosivost istog. Zbog postojanja podzemnih voda, prilikom zamene zemljišta predviđena je primena geotekstila. Zamena tla je predviđena u slojevima od 30cm ukupne debljine 2,7m. uz sabijanje svakog sloja do postizanja modula stišljivosti od 60MPa. Dimenzionisanje temelja je obavljeno uzimajući u obzir sve relevantne slučajeve opterećenja kako za sleganje tako i za naponu u tlu. Naponi tla ne prelaze dozvoljene vrednosti ($\sigma_{doz}=250\text{kPa}$) definisane geotehničkim elaboratom za

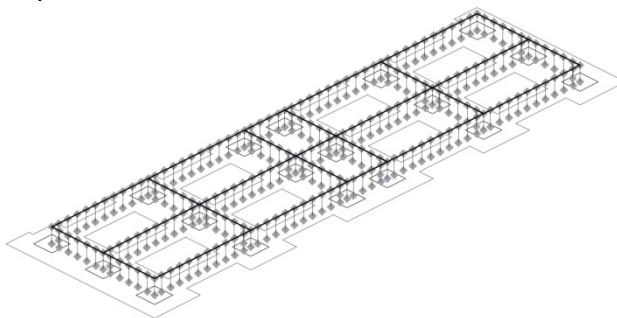
temeljnu ploču najslabijih dimenzija kao ploča usvojena u projektu. Sleganja tla su zadovoljavajuće ravnomerna i u dozvoljenim granicama (manje od 50mm).



Slika 7. Osnova temelja

4.2. Modeliranje i proračun temeljne konstrukcije

Pri proračunu temeljne konstrukcije su ispoštovani svi zahtevi iz trenutno važećih propisa za ovu vrstu konstrukcija, a posebno odredbe standarda EN 1992 [4] i EN 1997 [5]. Ispoštovani su osnovni zahtevi za ovu vrstu konstrukcija u pogledu graničnih vrednosti sleganja i napona tla, kao i minimalni procenti armiranja poprečnih preseka.



Slika 8. Šematski prikaz modela temeljne konstrukcije

Modeliranje konstrukcije temelja i dimenzionisanje AB elemenata su urađeni u softverskom paketu Radimpex Tower 7. Prilikom modelovanja su usvojeni armaturni čelik B500B i beton C30/37, i svi odgovarajući parametri su primenjeni u projektu. Globalni 3D model se sastojao od ploča i greda postavljenih kao u dispozicionom rešenju (Slika 7). Temeljne grede su postavljene u nivou iznad ploča i trakastih temelja i sa njima povezane pomoću ravnomerno raspoređenih

„link“ elemenata (veza), koji prenose sile (i translatorna pomeranja) u sva tri ortogonalna pravca (Slika 8). Isti su modelovani kao kruti elementi. Izdvajanjem temeljnih greda u poseban nivo se, prema mišljenju autora, postigla realnija raspodela uticaja za dimenzionisanje samih greda, kao i temeljnih traka i ploča. Kako bi se potvrdila ovakva strategija modelovanja, urađen je poseban proračun u softveru za analizu geotehničkih konstrukcija GEO5, pri čemu su temeljne grede, ploče i trake modelovane u istom nivou. Verifikacija je izvršena poređenjem dobijenih vrednosti sleganja i napona u tlu za eksploataciono opterećenje. Tlo je modelovano kao elastična podloga, uz primeru koeficijenta posteljice, kao parametra tla. Isti je usvojen na osnovu vrednosti sleganja temelja za odgovarajuće opterećenje tla sračunatih u geotehničkom elaboratu za temeljne ploče dimenzija najbližijih onim koje su usvojene u projektu. Imajući u vidu da proračuni u geotehničkom elaboratu nisu sprovedeni za tačne dimenzije usvojenih temeljnih ploča, kao ni za kombinaciju temeljnih ploča i traka, kako bi se ostalo na strani sigurnosti, izvršena je parametarska analiza rezultata proračuna dobijenih za različite vrednosti koeficijenata posteljice.

Prilikom proračuna uzeto je u obzir opterećenje koje se sa glavne noseće konstrukcije prenosi na temelje, kao i sopstvena težina samih temelja. Razmatrani su sledeći slučajevi opterećenja: sopstvena težina temelja, sopstvena težina konstrukcije, maksimalno dodatno stalno opterećenje, minimalno dodatno stalno opterećenje, korisno opterećenje, težina nataloženog pepela, dejstvo vetra, dejstvo zemljotresa kao i reakcije od posebnog opterećenja prouzrokovanog radom postrojenja, definisano od strane projektanta glavne noseće konstrukcije.

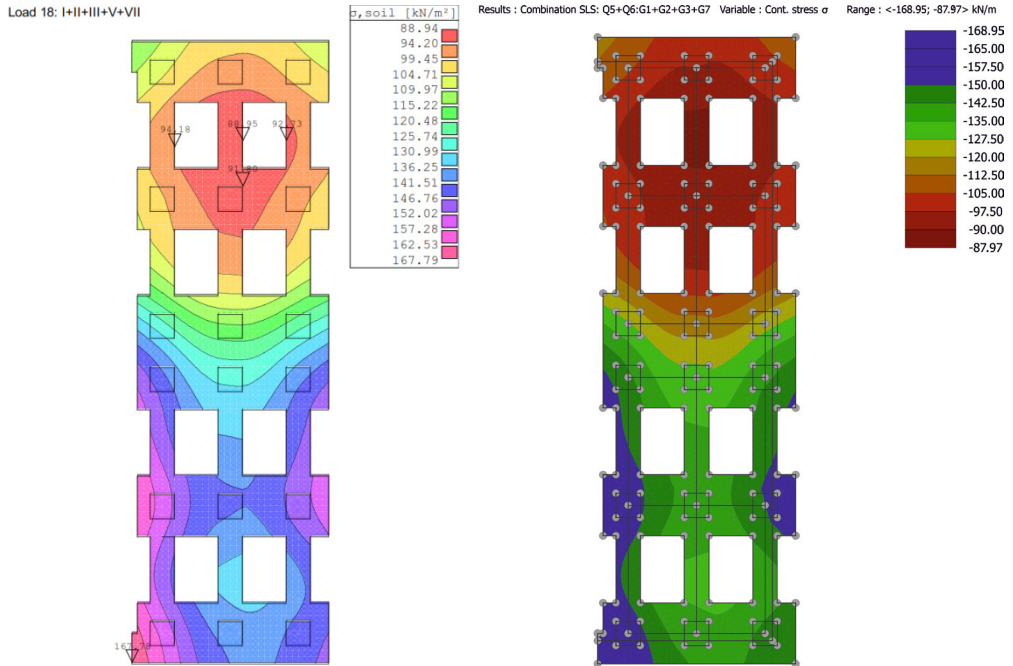
5. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako je već napomenuto, verifikacija Tower modela temeljne konstrukcije je sprovedena poređenjem dobijenih rezultata sleganja i napona u tlu sa rezultatima proračuna u programu za analizu geotehničkih konstrukcija, GEO5. Na slikama 9 i 10 su prikazani primeri rezultata proračuna za dejstvo eksploatacionog opterećenja. Može se primetiti odlično poklapanje dobijenih rezultata. Nakon verifikacije proračunskog modela, izvršen je proračun uticaja i dimenzionisanje AB elemenata za različite vrednosti koeficijenta posteljice. Poređenje rezultata proračuna na primeru vrednosti napona u tlu, sleganja i maksimalne potrebne površine armature u temelju je prikazana u tabeli 1. Promena koeficijenta posteljice nije rezultovala značajnom promenom potrebne površine armature. Pri tome je sa

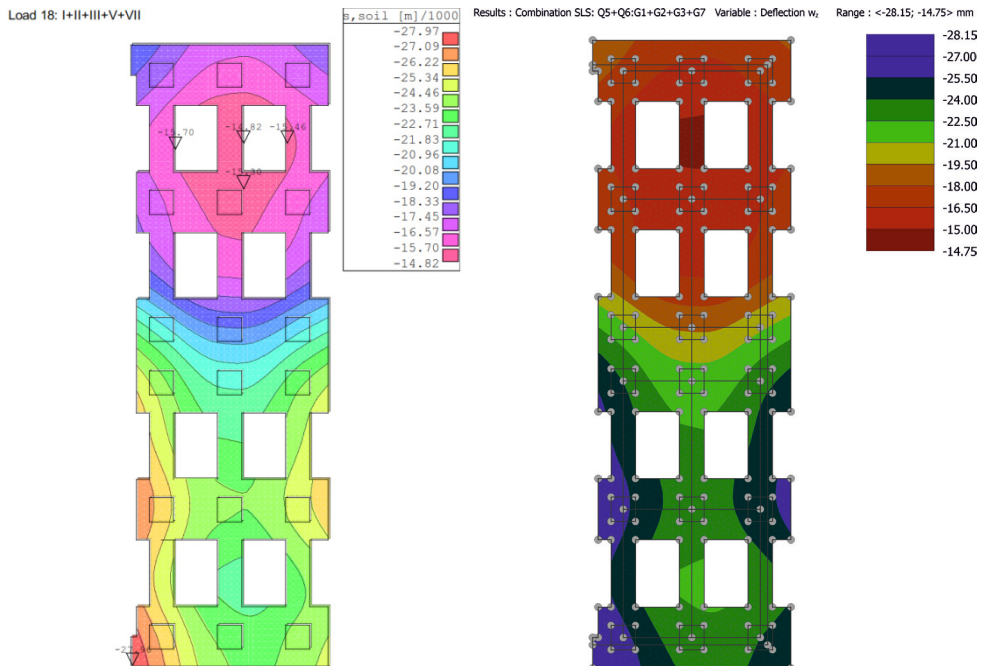
Tabela 1. Poređenje vrednosti rezultata proračuna

Koef. posteljice [kN/m ³]	Napon u tlu [kPa]	Sleganje [mm]	Maksimalna površina armature [cm ²]
4500	max 170.8	max 37.95	gornja zona 29.68
	min 130.74	min 29.05	donja zona 37.09
5000	max 172.07	max 34.42	gornja zona 29.29
	min 130.1	min 26.02	donja zona 35.19
5500	max 173.31	max 31.51	gornja zona 28.9
	min 129.41	min 23.53	donja zona 35.34
6000	max 174.51	max 29.09	gornja zona 28.52
	min 128.55	min 21.44	donja zona 34.88

porastom njegove vrednosti došlo do smanjenja potrebne površine armature. Imajući to u vidu, zaključeno je da nije potrebno dalje menjati ovaj parametar već usvojiti vrednost $K_{R,3}=4500\text{kN/m}^3$, sa kojom je i sproveden finalni proračun temelja.



Slika 9. Vrednosti napona u tlu za eksploataciono opterećenje: levo - Radimpex Tower; desno - GEO5



Slika 10. Vrednosti sleganja za eksploataciono opterećenje: levo - Radimpex Tower; desno - GEO5

6. ZAVRŠNE NAPOMENE

U radu je prikazano rešenje temeljne konstrukcije novoprojektovanog objekta elektrofilterskog postrojenja termoelektrane Kosovo B u Obiliću. Objekat se izvodi u okviru projekta modernizacije postrojenja, koja za cilj ima usklađivanje istog sa zahtevima Evropske unije u pogledu emisije štetnih materija u vazduh. S obzirom da se objekat gradi u okviru rekonstrukcije elektrofilterskog postrojenja, uz zadržavanje određenih delova postojećeg objekta, geometrija temelja je bila delimično uslovljena geometrijom zadržanih delova postojeće konstrukcije. Temeljna konstrukcija je proračunata odvojeno od glavne noseće konstrukcije. Svi relevantni podaci o opterećenju i načinu oslanjanja glavne noseće konstrukcije na temelj dostavljeni su projektantima od strane investitora, odnosno projektanata drugih delova objekta. Matematičko modeliranje je izvršeno na dva različita načina, pri čemu su rezultati proračuna upoređeni, pokazujući visok stepen poklapanja.

LITERATURA

- [1] Isufi, Skender,: **Emission Controls at Kosova's Thermal Power Plants, Current and Future Capabilities**, Master Thesis. Rochester Institute of Technology, 2010.
- [2] USAID: **Financing options for rehabilitation of thermal power plant "Kosovo B"** https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00W6SK.pdf (10.01.2023.)
- [3] **PRELIMINARY DESIGN - Geotechnical investigations and laboratory testing on TPP "Kosovo B" EPC buildings**, DGR "Geotehnika-Nova" DOOEL – Skopje, 2019.
- [4] EN 1992-1-1:2004: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [5] EN 1997-1:2004: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules

primljen: 15.01.2023.
korigovan: 14.02.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 725.4:502.174.3

BRISANJE GRANICA IZMEĐU INDUSTRIJSKOG I JAVNOG PROSTORA – SAVREMENE TEŽNJE U PROJEKTOVANJU ENERGETSKIH ZGRADA

Uroš Antić¹
Marko Nikolić²
Aleksandar Milojković³
Ljiljana Jevremović⁴

Rezime

Projektovanje energetskih industrijskih objekata sa sobom uvek nosi niz izazova i složenih zahteva, ne samo u pogledu sastavljanja arhitektonskog programa za specifičnu industrijsku tipologiju, već i u pogledu planiranja energetskih industrijskih kompleksa, kao i konteksta kome pripadaju. Ovakvi objekti su često bili izolovani od svog okruženja, fizički ograđeni i dostupni samo zaposlenim radnicima. Međutim, tehnološkim i društvenim razvojem, primetna je fizička dostupnost industrijskih sadržaja i tumačenje kao sastavnih delova grada. U ovom radu su prikazane savremene tendencije u projektovanju energetskih industrijskih objekata u 21. veku, koji svojom arhitektonskom i urbanom kompozicijom brišu konvencionalne granice između industrijskog i javnog u gradskom prostoru.

Ključne reči: energetski objekti, industrijska arhitektura, održivi razvoj, javni prostori

BRIDGING THE GAPS BETWEEN INDUSTRIAL AND PUBLIC SPACE – CONTEMPORARY ASPIRATIONS IN DESIGNING ENERGY PLANT BUILDINGS

Abstract

Designing energy plant buildings always brings a series of challenges and complex requirements, not only in terms of developing the architectural program for a specific industrial typology, but also in terms of planning energy plant sites and the context of which they are a part. Energy plants were often isolated from their surrounding, physically enclosed, and available only to employees. However, with technological and social development, it is noticeable that plants are becoming physically accessible and they are being interpreted as integral parts of the city. This paper presents contemporary tendencies in designing energy plants, which are bridging the conventional gaps between the industrial and public city space.

Key words: Energy Plants, Industrial Architecture, Sustainable Development, Public Spaces

¹ Uroš Antić, doktorand, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, anticuros6@gmail.com

² dr Marko Nikolić, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, marko.nikolic@gaf.ni.ac.rs

³ dr Aleksandar Milojković, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, aleksandar.milojkovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ dr Ljiljana Jevremović, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, ljiljana.jevremovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Industrijska arhitektura, pa samim tim i arhitektura energetskih industrijskih objekata, predstavlja odraz savremenog doba, s obzirom da nastaje kao direktna posledica mehanizacije i industrijalizacije [1]. U prvim razvojnim fazama, industrijska arhitektura je rešavala samo konstruktivnu problematiku, odnosno problematiku stvaranja prostora koji može smestiti neophodne industrijske tehnološke procese [2]. Strogo funkcionalne i skromne karakteristike industrijske arhitekture su posledica težnji i nastojanja u razvoju industrijskog sektora gde prevladuje racionalnost i maksimalno iskorišćavanje materijala, ljudstva i resursa, te odsustvo brige o fizičkom i socio-psihološkom stanju čoveka, kao i o estetskim karakteristikama [2]. Objekti energetske industrije (energane) su takođe projektovani veoma racionalno u pogledu forme i primenjenih materijala, ali zbog specifičnog tehnološkog procesa i programa, često su po površini veliki i složeni objekti i kompleksi. Iako su uglavnom bili zonirani u perifernim urbanim zonama, vremenom su postali deo centralnih gradskih područja zbog ekspanzije i razvoja gradova. Specifičnost konvencionalnih objekata industrijske tipologije karakteriše jasna oblikovna diferencijacija u odnosu na javne i stambene objekte, kao i stroga fizička granica između industrijskog i javnog prostora unutar gradske matrice [3]. Danas je situacija znatno drugačija, te je primetan zaokret u projektovanju i planiranju, pogotovo u razvijenim zemljama. Savremene industrijske strukture evoluiraju u objekte kod kojih se vodi računa o komforu i humanom ambijentu, ali i o estetici i vizuelnom identitetu [4], te su neretko gradske znamenitosti i prostorni reperi.

Ovaj rad se bavi savremenim projektantskim tendencijama i težnjama kod objekata energetike u razvijenim zemljama, odnosno sagledava na koji način se sklapanjem savremenog arhitektonskog programa briše konvencionalna granica između industrijske i javne namene u gradskom prostoru. Brisanje granica se ne odnosi isključivo na uklanjanje fizičkih barijera između industrijskih i javnih sadržaja, već i redefinisanje i reinterpretaciju uloge energetskog industrijskog sektora, oblikovnih dostignuća u projektovanju energetskih industrijskih zgrada i kompleksa u savremenim gradskim prostorima, implementaciji savremenih urbanih sadržaja, kao i uloge u održivom urbanom razvoju. Osnovni cilj istraživanja je identifikacija savremenih energetskih objekata kao aktivnih činioca u urbanom životu i na osnovu kojih karakteristika je to moguće ostvariti. Metodom studije slučaja su obuhvaćena tri primera energetskih objekata u razvijenim zemljama Evrope, a rezultati istraživanja sugerišu da je moguće projektovati energetske objekte koji zbog svoje specifične namene neće biti nepristupačni elementi gradske matrice.

2. METODOLOGIJA


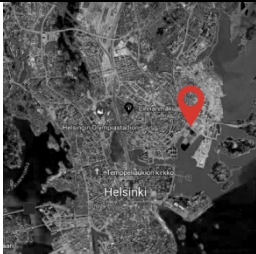
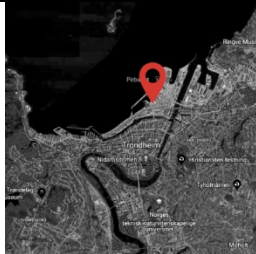
U istraživačkom procesu je primenjeno više različitih metoda istraživanja. Korišćen je metod studije slučaja na tri izabrana primera energana u razvijenim zemljama Evrope. Odabir analiziranih objekata u ovom istraživanju je izvršen na

osnovu različitih kriterijuma. Primarni kriterijumi na osnovu kojih su izabrani objekti su sledeći:

- Objekti vrše funkciju energetske proizvodnje, tj. moguće ih je klasifikovati kao energetske objekte.
- Projektovani su u sklopu gradske matrice i locirani su u centralnim gradskim zonama.
- Projektovani su i izgrađeni u 21. veku.
- Odstupaju od konvencionalnih energetskih objekata po projektantskim intervencijama.

Na osnovu navedenih kriterijuma, odabrana su tri objekta koja će biti predmet studije slučaja: fabrika Kopenhil u Kopenhagenu, Danska, Električna stanica Kalasatama u Helsinkiju, Finska, i Elektrana Bratokraja u Trondhajmu, Norveška. Osnovni podaci o objektima su prikazani u Tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o objektima studije slučaja

	Fabrika Kopenhil u Kopenhagenu	Električna stanica Kalasatama u Helsinkiju	Elektrana Bratokraja u Trondhajmu
Tip energetskog objekta	Fabrika koja pretvara otpad u energiju	Stanica za generisanje električne energije	Proizvodnja solarne energije
Projektant	Arhitektonski biro Bjarka Ingelsa (Bjarke Ingels Group)	Virkunen i ko arhitekti (Virkunen & Co Architects)	Arhitektonski biro Snoheta (Snøhetta)
Lokacija objekta	Industrijska zona Amager u Kopenhagenu	Bivša industrijska zona Kalasatama u Helsinkiju	Zona gradske luke u Trondhajmu
Položaj objekta u gradskoj matrici	 <i>Slika 1. Ortofoto prikaz Kopenhagena i položaj fabrike Kopenhil (izvor: Google Earth)</i>	 <i>Slika 2. Ortofoto prikaz Helsinkija i položaj Električne stanice Kalasatama (izvor: Google Earth)</i>	 <i>Slika 3. Ortofoto prikaz Trondhajma i položaj Elektrane Bratokraja (izvor: Google Earth)</i>
Planirane javne funkcije	Sportske i funkcije aktivne i pasivne rekreacije	Funkcije kulture	Funkcije poslovanja i administracije
Atipične intervencije	Forma objekta i planirani sadržaji	Planirani sadržaji	Forma i sjedinjavanje različitih namena u jedinstven objekat
Godina izgradnje	2019	2019	2019
Površina	41000 m ²	898 m ²	17800 m ²

Svaki pojedinačni primer je analiziran na dva nivoa:

- Prostorna i funkcionalna kompozicija
- Planirani urbani sadržaji

Analiza na ova specifična dva nivoa je od značaja za dobijanje odgovora na postavljena istraživačka pitanja, koja su formulisana na osnovu definisanog cilja istraživanja u uvodnom poglavlju, a ta pitanja su:

- Na koji način se arhitektonskim sklopom objekti izdvajaju od konvencionalne industrijske arhitektonske tipologije? (**Pitanje br. 1**)
- Implementacijom kakvih ubranih sadržaja se briše granica između industrijske i javne namene u gradskom prostoru? (**Pitanje br. 2**)
- Koja je uloga ovakvih objekata u održivom urbanom razvoju? (**Pitanje br. 3**)
- Kakvu poruku ovakvi tipovi objekata dostavljaju javnosti? (**Pitanje br. 4**)

Analiza na nivou prostorne i funkcionalne kompozicije direktno odgovara na prvo postavljeno istraživačko pitanje (**Pitanje br. 1**), dok analiza na nivou planiranih urbanih sadržaja direktno odgovara na drugo postavljeno istraživačko pitanje (**Pitanje br. 2**). Odgovori na treće i četvrto istraživačko pitanje (**Pitanje br. 3** i **Pitanje br. 4**) su dobijeni analitičkom metodom, tumačenjem izvora kao što su izjave i deskripcije projekatata objekata koje su dostupne na arhitektonskim internet portalima, ali i analizom stava zainteresovane javnosti.

3. SAVREMENI ENERGETSKI OBJEKTI

3.1. Definicija i klasifikacija energetskih objekata

Adekvatna klasifikacija energetskih industrijskih objekata je neophodna za razumevanje specifične prirode ovakvih struktura, a kako bi se izvršila odgovarajuća klasifikacija energetskih industrijskih objekata, potrebno je izvršiti odgovarajuću klasifikaciju samog energetskog industrijskog sektora. To nije nimalo jednostavan zadatak, posebno ukoliko se uzme u obzir širok spektar tipova energije koje su u upotrebi u savremenom dobu. Najjednostavnija klasifikacija proizilazi iz same definicije energetskih objekata, a koja se zasniva na upotrebi odgovarajućih tipova energije: energetski objekti (energane) su sklop industrijskih sistema čiji različiti primarni izvori generišu energiju pomoću različitih sistema i opreme [5]. Klasifikacija energana se vrši na osnovu primarnog izvora energije, te postoje konvencionalne i nekonvencionalne energane. U konvencionalne spadaju hidro, termo, nuklearne energane, dok u nekonvencionalne spadaju solarne, geotermalne, energane biomase, itd. Zbog obimnosti i kompleksnosti energetskog sektora i tipova energetskih objekata, te zbog potrebe interdisciplinarnog pristupa sadržaju i problemskom okviru, u ovom istraživanju će se energetskim objektima smatrati svi objekti koji proizvode i distribuiraju energiju.

3.2. Definicija održivog razvoja

U cilju dobijanja odgovora na postavljeno istraživačko pitanje (**Pitanje br. 3**) o ulozi savremenih energetskih objekata u održivom razvoju, potrebno je postaviti adekvatan teorijski okvir na osnovu kojeg je moguće voditi diskusiju o održivosti.

Današnje tumačenje pojma održivosti se prvi put pominje 1972. godine u delu Granice rasta (The Limits to Growth) gde grupa autora na čelu sa autorkom Donelom Medouz (Donella Madows) predstavlja studiju o kapacitetima planete u kontekstu rasta populacije, koja je zagovarala princip kontrole trendova rasta i uspostavljanja stanja ekološke i ekonomske stabilnosti koja bi bila održiva u budućnosti [6]. U drugoj polovini 1980-ih se javlja vizija održivog razvoja kroz tri dimenzije: dimenzija ekonomskog rasta, socijalne uključenosti i ekološke ravnoteže, što predstavlja tri stuba održivog razvoja [6]. Na svetskom samitu u Rio de Žaneiru 1992. ova tri stuba su i definisana kao paradigme održivog razvoja [7]. Održivi razvoj je izuzetno složen koncept koji se menja i evoluiira u skladu sa potrebama savremenog društva. Kada je reči o graditeljskoj delatnosti, autori Vilson i Kibert (Wilson, Kibert, 1999) navode da je sektor građevinarstva glavni sektor ekonomije, te da je neophodno redefinisane obrazaca delovanja u skladu sa ograničenjima koje diktira održivost – povećanje efikasnosti resursa, korišćenje obnovljivih izvora, smanjenje proizvodnje i akumulacije zagađenja, stabilizacija stanovništva, ograničenje emisije štetnih gasova i zaštita prirodnih područja [6].

3.3. Studija slučaja savremenih energetske objekata

3.3.1. Fabrika Kopenhil u Kopenhagenu, Danska

Prema klasifikaciji energetske zgrada, fabrika Kopenhil se može definisati kao industrija koja pretvara različite vrste otpada u energiju (eng. waste-to-energy plant). Sagrađena je 2019. godine po projektu arhitektonskog biroa Bjarka Ingelsa (Bjarke Ingels Group - BIG) i zauzima površinu od 41000 m². Locirana je u autentičnoj priobalnoj industrijskoj zoni Amager u centralnom gradskom jezgru Kopenhagena. Lokacija industrijske zone Amager je izuzetno specifična, ne samo zbog blizine centralnim gradskim sadržajima i uloge koju taj deo grada ima u kreiranju industrijskog pejzaža, nego i zbog savremenih urbanih sadržaja koji se u razvijaju u neposrednom industrijskom okruženju [8].

Tektonika objekta je vrlo kompleksna, jer sadrži tipične elemente industrijske arhitekture, ali prostornom i oblikovnom kompozicijom se udaljava od konvencionalnih tipologija industrijske zgrada. Forma objekta proističe iz funkcionalnih potreba industrije i tehnološkog procesa, te su kaskadne pravougaone mase inicijalni projektantski koncept. Zbog ideje o integrisanju krova sa terenom, i zbog želje da krov postane staza za pešačenje i skijanje, volumen zgrade je suptilno zaobljen. Fasada je obložena perforiranim aluminijumskim panelima koji služe kao polutransparentna zavesa. Dimnjaci, skladišta, instalacione mreže i prateće infrastrukture naglašavaju industrijsku prirodu objekta, ali isto tako zaobljena forma i atipična kombinacija volumena kojom je formiran karakteristična krov, kao i naglašena visina objekta, reflektuju savremene principe u projektovanju industrijske objekata i ključni su činioци u formiranju savremenog industrijskog pejzaža.

Najdominantniji i najupečatljiviji element na objektu je svakako krov, koji služi kao staza za skijanje i pešačenje, sa elementima za pasivnu rekreaciju i raznim tipovima zelenila. Ovakvi planirani urbani sadržaji dozvoljavaju građanima da aktivno koriste industrijski prostor, te da ga percipiraju kao poligon za različite tipove rekreacija.



Slika 4. Fabrika Kopenhil u Kopenhagenu. Fotografija levo: Dragoer Luftfoto; fotografija desno: Ramsus Hjortshoj, dostupno na sajtu:

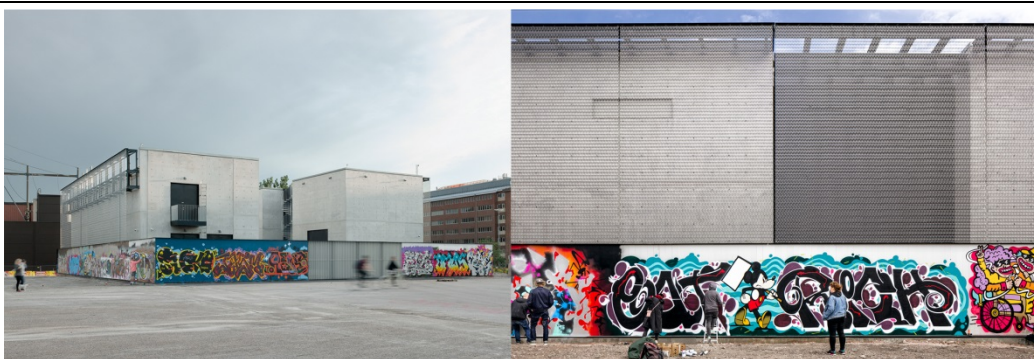
<https://www.archdaily.com/925970/copenhill-energy-plant-and-urban-recreation-center-big>

3.3.2. Električna stanica Kalasatama u Helsinkiju, Finska

Električna stanica u Kalasatami je tip industrijskog objekta koji proizvodi električnu energiju i distribuira je okolnim objektima. Sagrađena je 2019. godine po projektu finskog arhitektonskog biroa Virkunen i ko arhitekti (Virkunnen & Co Architects) i zauzima površinu od 898 m². Lokacija stanice je u blizini dela grada koji se naziva Kalasatama, nekadašnja industrijska zona sa dominantnom energetsom proizvodnjom [9], a današnja platforma za savremeni urbani razvoj.

Objekat je skromnih dimenzija, pogotovo ukoliko se poredi sa tipičnim energetsom industrijskim objektima koji imaju više hiljada metara kvadratnih. Morfološki gledano, objekat je podeljen na dve celine, tj. sačinjen je od dva slobodnostojeća kubusa. Forma objekta je vrlo jednostavna i proističe iz prostorne organizacije, odnosno funkcionalnih potreba za smeštajem industrijske opreme. Stilski tretman objekta je minimalistički, fasade su obložene u celosti perforiranim betonskim panelima, uz prisustvo pomoćnih elemenata kao što su stepenice, merdevine, terase i vrata koji čine bitan faktor u celokupnoj oblikovnoj kompoziciji. Objekti nemaju prozorske okvire, te je forma u potpunosti zatvorena.

Najupečatljiviji kompozicioni element je svakako ograda koja izdvaja objekte od javne gradske površine i limitira pristup objektu. Fizičko ograđivanje je direktno proisteklo iz bezbednosnih zahteva i uslovljenosti regulativnim okvirom [10]. Međutim, ograda od tri metra koja razdvaja Električnu stanicu od javnog gradskog prostora je postala integralni deo područja jer je u funkciji površine za izradu grafita – što značajno doprinosi implementaciji sadržaja za kreativno izražavanje na lokaciji.



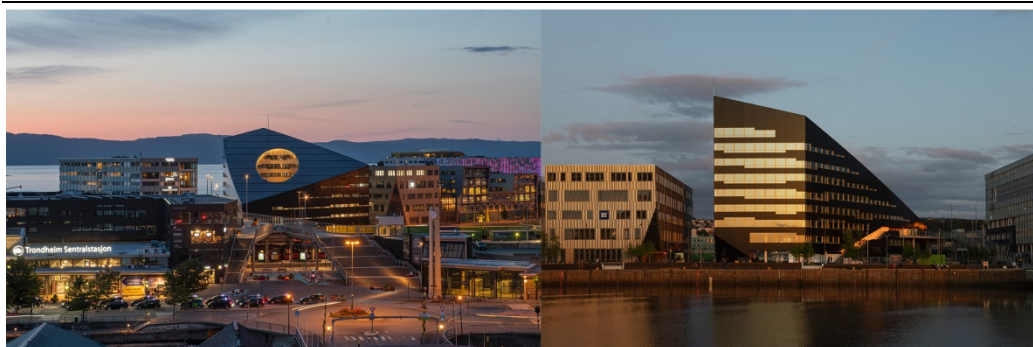
Slika 5. Električna stanica Kalasatama u Helsinkiju. Fotografija: Maks Plandžer (Max Plunger), dostupno na sajtu: <https://www.archdaily.com/925762/kalasatama-electricity-substation-and-suvilahti-graffiti-fence-virkkunen-and-co-architects>

3.3.3. Elektrana Bratorkraja u Trondhajmu, Norveška

Elektrana Bratorkraja, koja se nalazi u Trondhajmu u Norveškoj, se ne može strogo klasifikovati kao isključivo energetski objekat. Dominantna namena objekta je poslovanje, ali zbog morfoloških karakteristika, materijalizacije, kao i doprinosa neposrednom okruženju, objekat je istovremeno i elektrana koja generiše solarnu energiju i distribuira je okolnim objektima, te se može vrednovati kao mešoviti objekat – poslovni (javni) i industrijski. Objekat je sagrađen 2019. godine od strane arhitektonskog biroa Snoheta (nor. Snøhetta) i zauzima površinu od 17800 m². Lokacija objekta je u trondhajmskoj luci. Interesantno je da je ovo objekat koji se nalazi u gradu koji je relativno blizu Arktičkog kruga, te je iskorišćenje solarne energije veliki izazov [11].

Sagledavajući oblikovne elemente, formu i materijalizaciju, objekat je mnogo bliži tipološkim karakteristikama javnih poslovnih objekata nego industrijskih. Oštre ivice i nepravilno zakošen krov vizuelno izdvajaju objekat u odnosu na okruženje i stvaraju jaku kontrast u formiranju siluete priobalja, dok je elipsoidni atrijum lajtmotiv i oblikovni pečat objekta. Materijalizacija je ključni element zbog koga ovaj poslovni objekat vrši funkciju energetskog objekta u centralnom gradskom jezgru. Zakošen krov je optimalno pozicioniran u odnosu na ekspoziciju Sunca, a celokupna površina nepravilnog krova je obložena solarnim panelima. Reflektujući fasadni paneli, dominantni horizontalni prozorski okviri i krov koji je projektovan kao dodatna fasadna ravan doprinose stilskom jedinstvu i autentičnosti objekta.

Elektrana nema neke specifične urbane sadržaje koji inspirišu građane da aktivno koriste prostor i neposredno okruženje, ali manjak takvih urbanih sadržaja nadoknađuje drugačijim karakteristikama od značaja za održivi urbani razvoj. Objekat je u potpunosti energetski efikasan i samoodrživ, te ispunjava savremene bioklimatske i ekološke standarde. Pored samoodrživosti, objekat u značajnoj meri doprinosi okruženju. Zbog forme koja se prilagođava ekspoziciji Sunca, kao i zbog upotrebe solarnih panela, zgrada Bratorkraja proizvodi dva puta više energije nego što potroši. Višak energije se skladišti, a potom se distribuira okolnim objektima, ali i javnim gradskim sadržajima i infrastrukturi [11].



Slika 6. Elektrana Bratorkraja u Trondhajmu. Fotografija: Ivar Kval (Ivar Kvaal), dostupno na sajtu <https://www.archdaily.com/924325/powerhouse-brattorkaia-snohetta>

4. DISKUSIJA

U cilju sagledavanja projektantskih principa na osnovu kojih se analizirani savremeni energetski industrijski objekti izdvajaju od konvencionalnih principa projektovanja energetskih zgrada i kompleksa, potrebno je odgovoriti na četiri istraživačka pitanja koja su definisana u poglavlju Metodologija. Odgovori na pitanja kod svakog pojedinačnog slučaja su prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Tabelarni prikaz odgovora na postavljena istraživačka pitanja.

	Fabrika Kopenhil u Kopenhagenu	Električna stanica Kalasatama u Helsinkiju	Elektrana Bratorkraja u Trondhajmu
Pitanje br. 1	Sama forma objekta je atipična, udaljava se od najčešće viđenih pravougaonih struktura koje su dominantne kod industrijskih objekata. Materijalizacija objekta je polu-transparentna, sa perforiranim panelima. Zeleni krov u funkciji rampe.	Forma i odabrana materijalizacija su tipične za industrijske objekte, naročito manje industrijske strukture. Implementacija perforiranog omotača u funkciji duple fasade nije tipična za industrijsku arhitekturu.	Izlomljena i oštra forma. Vizuelno dominantan izlomljeni krov sa oštrim nagibom vrši funkciju dodatne fasade. Atipičan elipsoidni atrijum.
Pitanje br. 2	Krov u funkciji staze za skijanje i pešačenje koji je u potpunosti dostupan građanima. Implementacija zelenila i elemenata za pasivnu i aktivnu rekreaciju.	Celokupna ograda koja fizički odvaja stanicu od gradskog prostora je u funkciji podloge za izradu grafita.	Integralni deo siluete grada i lajtmotiv gradske luke. Bez konkretnih ubranih sadržaja.
Pitanje br. 3	Objekat ima bitnu	U pogledu održivog	Ispunjava sve

	ulogu u svim aspektima održivog razvoja – naročito u socijalnim i ekološkim aspektima.	razvoja najzastupljeniji su socijalni i ekonomski aspekti.	aspekte održivog razvoja, naročito ekonomske i ekološke .
Pitanje br. 4	Prezentacija energetske industrijske kao aktivnog činioca u očuvanju psihičkog i fizičkog zdravlja građana. Industrija nije samo potreba i nužnost, već može postati integralni deo gradskog prostora i turistička atrakcija.	Iako neki tipovi energetske industrijske moraju biti fizički ograničeni od javnog prostora zbog bezbednosnih razloga, to ne znači da ne mogu da učestvuju u kreiranju savremenog urbanog života. Korišćenje elementa koji razdvaja industrijski od javnog prostora kao podloge za kreativno izražavanje.	Grupisanje industrijske i javne sadržaja u jedinstven objekat koji oblikuje gradski pejzaž. Proizvodnja čiste energije za samoodrživost objekta i distribucija okolnim objektima, ali i vitalnim infrastrukturnim i komunalnim sadržajima u gradu.

U vezi sa načinom na kojim se arhitektonski sklopovi analiziranih objekata izdvajaju od konvencionalne industrijske arhitektonske tipologije (**Pitanje br. 1**) moguće je primetiti različit projektantski tretman u sva tri slučaja. Forma Fabrike Kopenhil i Elektrane Bratokrāja je razučena i atipična za klasično poimanje industrijskih objekata, sa izuzetno specifičnim elementima kao što je zeleni krov u funkciji rampe i elipsoidni atrijum. S druge strane, forma Električne stanice Kalasatama vrlo skromna i jednostavna, ali opet razigrana. Materijalizacija je drugačija kod sva tri objekta. Fasadni omotač Kopenhila je sačinjen od perforiranih panela koji omogućuju delimičnu transparentnost enterijera sa industrijskom opremom. Primarni fasadni omotač Električne stanice Kalasatama je u potpunosti zatvoren i sačinjen od betonskih panela, dok je sekundarni omotač sačinjen od perforiranih elemenata. Fasadni omotač Elektrane Bratokrāja čine crni aluminijumski paneli, kao i solarni paneli na krovu, čime je postignuto vizuelno jedinstvo svih ravni objekta. Iako veoma različite, forma i materijalizacija svakog od tri analizirana objekta odgovaraju njegovoj nameni, funkciji i kontekstu kome pripadaju, interpretirajući na savremen način industrijsku prirodu zgrade i neposrednog okruženja. Sva tri objekta koriste fasadni omotač kao medijum za povezivanje, tj. direktnu komunikaciju sa javnim prostorom. Fabrika Kopenhil i Električna stanica Kalasatama imaju aktivnu javnu ulogu, dok Elektrana Bratokrāja ima pasivnu javnu ulogu.

U vezi sa pitanjem urbanih sadržaja pomoću kojih se briše granica između industrijske i javne namene u gradskom prostoru (**Pitanje br. 2**) kod sva tri objekta je primetan drugačiji pristup. Ono što je univerzalno za sva tri objekta jeste da značajno učestvuju u formiranju identiteta neposrednog okruženja i da javni prostor koji fizički zauzimaju istovremeno i vraćaju zajednici ponudom različitih sadržaja.

Planirani sadržaji Fabrike Kopenhil su pre svega orijentisani na različite tipove aktivne rekreacije, te je forma objekta projektovana na način kojim je moguće podržati takve sadržaje. Električna stanica Kalasatama pak omogućuje da deo svog fizičkog omotača postane podloga za umetničke ekspresije, postajući važan element u kreiranju alternativne urbane kulturne scene. Elektrana Bratokraja postaje sastavni deo poslovne zgrade, integrišući javne i industrijske sadržaje u jedinstvenu celinu - mešoviti tip objekta, što značajno preispituje oštre klasifikacije klasičnih namena objekata.

U vezi sa pitanjem uloge ovakvih objekata održivom urbanom razvoju (**Pitanje br. 3**) primetna je aktivna uloga svakog analiziranog objekta u svakom od tri ključna stuba održivog razvoja (ekonomski, ekološki i socijalni). Premda svaki tip objekta ima neke izraženije aspekte održivog razvoja:

- Fabrika Kopenhil značajno doprinosi ekološkom razvoju, kako zbog same tipologije energetskog sektora (pretvaranje otpada u energiju), tako i zbog implementacije zelenila na objektu, kao i zbog korišćenja neophodnih savremenih sistema kojim se u velikoj meri smanjuje industrijsko zagađenje. Takođe, vidljiv je i doprinos socijalnom razvoju – omogućavanje aktivnog korišćenja samog objekta što doprinosi inkluzivnosti građana.
- Električna stanica Kalasatama pre svega doprinosi socijalnom razvoju, jer svojim arhitektonskim sklopom i planiranim sadržajima aktivno razvija kulturni sektor i učešće mlađe populacije. Zbog male dimenzije samog objekta, nemoguće je govoriti o značajnom ekonomskom razvoju, ali je svakako i taj aspekt neosporiv zbog specifičnog tipa industrijskog objekta.
- Elektrana Bratokraja u značajnoj meri doprinosi ekološkom razvoju, kako zbog visoke samoodrživosti, tako i zbog generisanja i distribucije čiste energije infrastrukturnim i komunalnim gradskim sadržajima. Takođe, značajan je i ekonomski aspekt održivog razvoja zbog integrisanja različitih namena u jedinstven objekat koji karakteriše visok stepen funkcionalnosti.

Moguće je zaključiti da objekti ispunjavaju kriterijume održivog razvoja:

- Svi objekti pod svojom primarnom delatnošću proizvode struju iz karakterističnih izvora energije, čime doprinose ekološkoj i ekonomskoj održivosti.
- Sekundarne delatnosti, kao što su rekreacija, umetnost, poslovanje, kultura, pojačavaju održivost kroz sociološki aspekt.
- Mešanja sadržaja govori o proizvodnji energije koja je tehnološki dostigla zadovoljavajući stepen bezbednosti za okruženje, što ojačava ekološki aspekt održivog razvoja.

U vezi sa pitanjem poruke koju ovi objekti dostavljaju (**Pitanje br. 4**), primetno je redefinisanje stavova o ulozi industrije u gradskom prostoru. Klasična percepcija industrije podrazumeva viđenje industrijskog sektora kao ekonomskog i privrednog pokretača predela, ali kao i generatora socio-ekonomskih i ekoloških problema [12]. U sva tri slučaja je moguće primetiti ideju projekatata o promeni klasične percepcije industrije i energetike. Energetski sektor nije isključivo zagađivač koji crpi resurse, već je integralni deo grada koji aktivno učestvuje u dinamici urbanog života. Ovo je naročito primetno kod Fabrike Kopenhil koja jasno naglašava ulogu

industrije kao centra aktivne rekreacije koji minimalno zagađuje okruženje, a čak pomaže u poboljšanju fizičkog i psihičkog zdravlja korisnika. Projektanti arhitektonskog biroa Bjarka Ingelsa smatraju da je ovakva kompozicija objekta refleksija progresivnih vizija korporacije koja koristi objekat [8], dok je stav gradonačelnika da fabrika Kopenhil predstavlja oličenje održivog razmišljanja i inovativne arhitekture sa rekreativnim sadržajima – ono što građani žele u gradu [13]. Električna stanica Kalasatama šalje jasnu poruku o mogućoj ulozi energetske industrije u kulturno-umetničkom životu grada i inkluziji mlađeg stanovništva. Kultura ulične umetnosti je izuzetno važna i jaka u neposrednom okruženju [10], što su projektanti iz studia Virkunen i ko arhitekti prepoznali i uspešno inkorporirali u projekat. Elektrana Bratokraja preispituje stroge granice u namenama objekata, odnosno ilustruje mogućnost integracije različitih sadržaja. Elektrana Bratokraja takođe preispituje ulogu energetskih objekata u različitim savremenim gradskim sadržajima i potrebama savremenog čoveka.

5. ZAKLJUČAK

Iz prethodne diskusije se može postići određeni zaključak o savremenim principima projektovanja energetskih objekata, odnosno o načinima pomoću kojih je moguće brisati konvencionalne granice između industrijskog i javnog u savremenom gradskom prostoru.

Po pitanju forme i materijalizacije, kao i implementiranih urbanih sadržaja moguće je zaključiti da su ovakvi poduhvati više izuzeci i nisu čest primer u praksi, naročito u nerazvijenim i zemljama u razvoju. Činjenica da projektovanje i izgradnja ovakvih tipova objekata iziskuje značajna finansijska sredstva, nemoguće je očekivati da ovakvi objekti predstavljaju značajan deo palete energetskih objekata. Međutim, u analiziranim primerima je primetan i nekonvencionalan pristup koji ne povećava troškove gradnje, kao što je mogućnost korišćenja određenih segmenata omotača zgrada u različite svrhe. Odstupanje od konvencionalnih principa projektovanja energetskih objekata ne mora nužno značiti primenu atipičnih formi koje predstavljaju izazov za projektovanje i izvođenje, već može podrazumevati i pronalaženje kreativnih rešenja pri implementaciji različitih tipova sadržaja.

U uvodnom poglavlju je definisan predmet istraživanja koji je podrazumevao sagledavanje načina na koji se sklapanjem savremenog arhitektonskog programa briše konvencionalna granica između industrijske i javne namene u gradskom prostoru. Na osnovu analiziranih primera, moguće je zaključiti da savremeni energetski objekti koriste svoj spoljni omotač za javne namene, te da se javna namana superponira sa industrijskom. Savremeni energetski objekti izbegavaju ustaljen imidž "nedodirljivih" struktura u gradu, fizički ograđenih, sakrivenih i dostupnih samo zaposlenim radnicima.

Analizirani primeri energetskih industrijskih objekata ilustruju da je moguće eksperimentisati i menjati percepciju o konvencionalnoj industrijskoj arhitekturi, poštujući kontekst i specifičnu prirodu industrijske tipologije. Savremeni energetski industrijski objekti nisu više samo puka potreba i pomoćni element u efikasnom urbanom funkcionisanju, već su oni sastavni deo gradskog tkiva koji i te kako mogu ponuditi širok spektar urbanih, rekreativnih i kulturnih sadržaja. Savremeni energetski industrijski objekti prezentuju težnje društva ka čistim tipovima

energetske distribucije, održivom urbanom razvoju, zdravoj životnoj sredini, transparentnim i pristupačnim javnim prostorima i inkluziji svih građana.

LITERATURA

- [1] Caldas Maria Viera Renata, Moreira Diniz Fernando: **Industrial Architecture: technique, detail and significance**. *Cadernos Proarq* 18, 154-176, 2012.
- [2] Kojić Branislav: **Projektovanje privrednih zgrada: Industrijska arhitektura**. *Naučna knjiga*, Beograd, 1962.
- [3] Ruiz Puente Carmen: **Planning for Urban Growth and Sustainable Industrial Development**. *Making Transparent Environmental Management Decisions: Applications of the Ecosystem Management Decision Support System*, Springer, 253-276, 2014.
- [4] Jevremović Ljiljana: **Primena atrijumske forme zgrada u projektovanju objekata industrije**. *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta*, br. 25, 103-111, 2010.
- [5] Atkins Tony, Escudier Marcel: **A Dictionary of Mechanical Engineering**. *Oxford University Press*, Oxford, United Kingdom, 2013.
- [6] Jevremović Ljiljana: **Nova namena kao determinanta u tretmanu industrijskih braunfilda – modeli obnove i klasifikacija**. *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022.
- [7] <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21> (05.02.2023.)
- [8] <https://www.archdaily.com/925970/copenhil-energy-plant-and-urban-recreation-center-big> (22.12.2022.)
- [9] Sung-o Park: **A Design Strategy for Transforming an Old Power Plant into a Cultural Center**. *Department of Architecture at the Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, Cambridge, Massachusetts, 2009.
- [10] <https://www.archdaily.com/925762/kalatatama-electricity-substation-and-suvilahti-graffiti-fence-virkkunen-and-co-architects> (27.12.2022.)
- [11] <https://www.archdaily.com/924325/powerhouse-brattorkaia-snohetta> (09.01.2023.)
- [12] Saghin Irina, Ioja Cristian, Gavrilidis Athanasios, Cercleux Loreta, Niță Mihai, Vânău Gabriel: **Perception of the Industrial Areas Conversion in Romanian Cities - Indicator of Human Settlements Sustainability**. *48th ISOCARP Congress*, 1-12, 2012.
- [13] <https://www.nytimes.com/2019/10/23/travel/copenhagen-ski-hill-powerplant.html> (06.02.2023.)

primljen: 22.12.2022.
korigovan: 12.01.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 624.012.45.042.1

DIJAGNOSTIKA STANJA AB KONSTRUKCIJE ISPITIVANJEM NA UTICAJE PROBNOG OPTEREĆENJA - STUDIJA SLUČAJA -

**Slobodan Ranković¹
Nenad Ristić²
Žarko Petrović³
Todor Vacev⁴**

Rezime

U radu su prikazani istražni radovi i rezultati ispitivanja koja su sprovedena radi ocene stanja armiranobetonske (AB) konstrukcije Doma kulture u Kuršumliji. Gradnja objekta prekinuta je pre više od 30 godina i prepuštena zubu vremena bez bilo kojih mera zaštite. U cilju dokaza trenutnog stanja materijala (betona) i konstrukcije izvršeno je ispitivanje međuspratne konstrukcije na uticaje probnog opterećenja i sprovedena ispitivanja pritisne čvrstoće ugrađenog betona.

Ključne reči: dijagnostika stanja, ispitivanje, probno opterećenje

DIAGNOSTIC OF RC CONSTRUCTION CONDITION BY TESTING THE INFLUENCES OF TEST LOAD - CASE STUDY -

Abstract

In the paper are presented investigating works and results of testing conducted for the purpose of assessment of state of the reinforced concrete structure of the House of Culture in Kuršumlija. The construction was interrupted more than 30 years ago and the building was left to the ravages of time, without any protection measures. For the aim of proving of the current state of the material (concrete) and the structure, testing of the floor structure under test load was done, and examinations of the compressive strength of the built-in concrete were conducted.

Key words: Diagnostic of State, Testing, Test Load

¹ Slobodan Ranković, Dr, docent, GAF Niš, rankovics@gmail.com

² Nenad Ristić, Dr inž., van. prof., GAF Niš, nenad.ristic@gaf.ni.ac.rs

³ Žarko Petrović, Dr inž., van. prof., GAF Niš, zarko.petrovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ Todor Vacev, Dr inž., red. prof., GAF Niš, todor.vacev@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Kao primer dijagnostike (ocene) stanja jedne armiranobetonske (AB) konstrukcije čija je gradnja prekinuta, a zatim više decenija prepuštena zubu vremena bez zaštite, prikazan je objekat nedovršenog Doma kulture u Kuršumliji (*Foto 1*). Objekat je po strukturi spratnosti prizemlje + sprat + galerija, ukupne površine oko 2000 m², a prema dostupnim saznanjima gradnja je počela osamdesetih godina prošlog veka i prekinuta 1990. godine. Tokom više od tri decenije od prekida radova došlo je do oštećenja usled štetnog uticaja atmosferilija jer krovna konstrukcija objekta nije urađena, niti je odrađena hidro izolacija i fasada objekta.

U cilju ocene stanja osnovnih konstruktivnih elemenata izvršeno je ispitivanje međuspratne konstrukcije na uticaj probnog opterećenja u skladu sa standardom SRPS U. M1. 047 [3], a na karakterističnim konstruktivnim elementima (stubovi, zidna platna, grede i ploče objekta) izvršeno je ispitivanje mehaničkih karakteristika (pritisne čvrstoće) ugrađenog betona. Istražni radovi su sprovedeni u skladu sa važećim standardima, od strane akreditovanih Laboratorija za ispitivanje konstrukcija i građevinske materijale GAF Niš [1].

2. ISPITIVANJE MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE NA UTICAJE PROBNOG OPTEREĆENJA

Za ispitivanje na uticaje probnog (zamenjujućeg) opterećenja odabrana je međuspratna konstrukcija na galeriji, koja je bila izložena najvećem uticaju atmosferilija (dejstvu padavina, mraza i sunca) i koja je vizuelnim pregledom imala najlošije karakteristike. Odabrana je ploča livena na licu mesta debljine $d=14\text{cm}$, koja se oslanja na grede dimenzija 30/50 cm. Površina ove pozicije ima čist raspon između nosećih greda 3,35 m x 9,70 m (*Slika 1*).

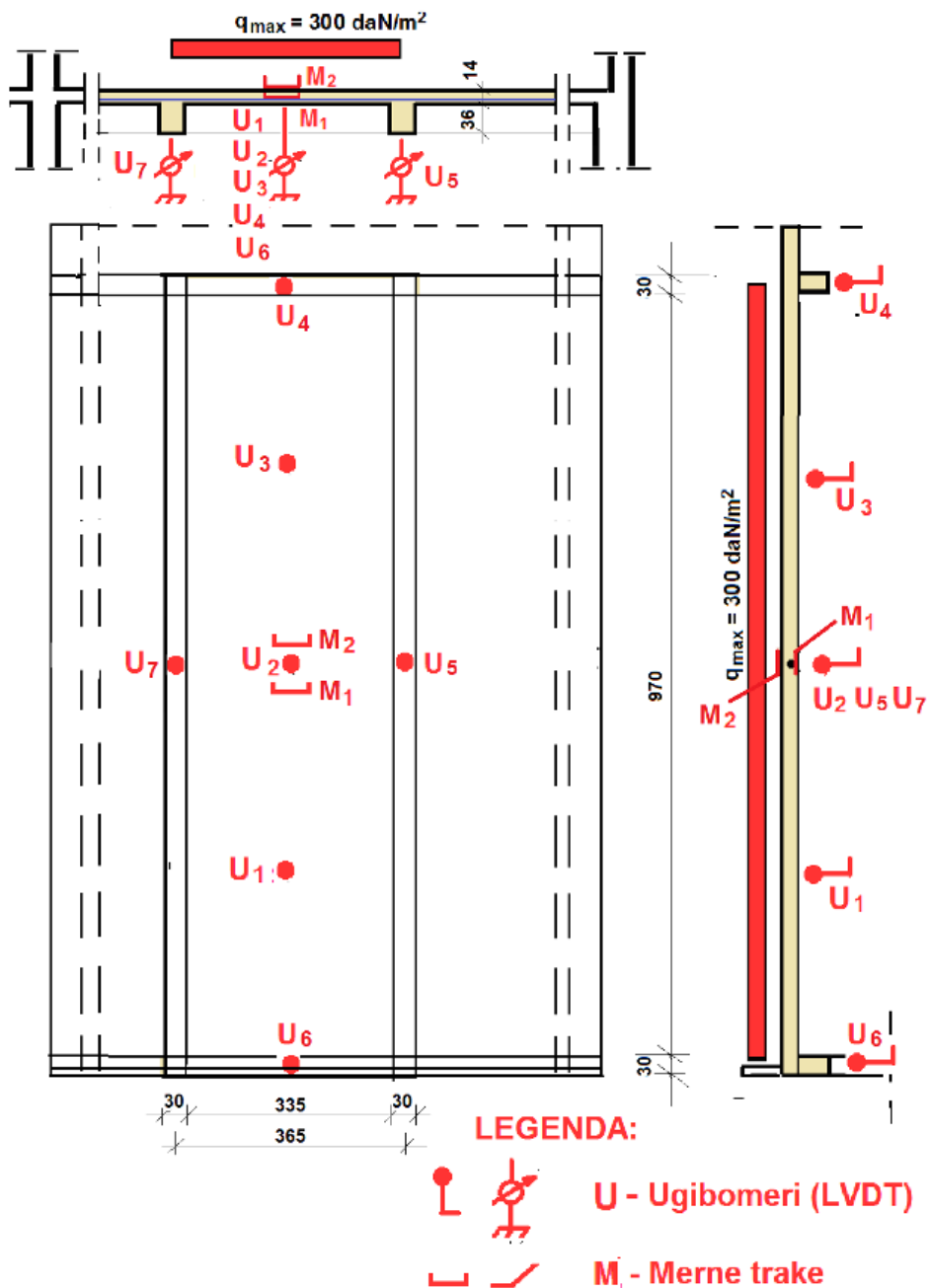
Makroskopskim pregledom ustanovljeno je da je površina betona na ploči sa gornje strane delimično oštećena, uz pojavu mrvljenja betona, a da je se sa donje strane može uočiti procurivanje vode i pojava karbonatizacije. Stanje greda (podvlaka) u zoni ispitivanja bilo je zadovoljavajuće.

Kao probno statičko opterećenje, korišćene su vreće sa cementom pojedinačne težine 50 kg (*Foto 6*). Opterećenje je zadržano na konstrukciji 16 sati nakon čega je izvršeno rasterećenje uz očitavanje zaostalih vrednosti na instrumentima u narednih 4 sata tokom rasterećenja do stabilizacije vrednosti.

Raspored mernih instrumenata izvršen je u skladu sa principom opasivanja preseka instrumentima. Korišćena je oprema za praćenje globalnih (opštih) i lokalnih deformacija i naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji. Globalne deformacije (ugibi) u poloči praćene su elektronskim meračima pomeranja (LVDT) W50 sa hodom od $\pm 50\text{ mm}$ (*Foto 2, 3*). i ugibomerima sa žicom. Dilatacije u armaturi i betonu prećene su elektrootpornim tenzometrima (mernim trakama) LY 41. Davači su vezani za mernu stanicu primenom merno-akvizicijskog sistema SPIDER8 i povezani sa personalnim računarnom. Obrada podataka izvršena je softverskim paketom CATMAN. Zamenjujuće (probno) opterećenje koje po intenzitetu predstavlja dodatno stalno i

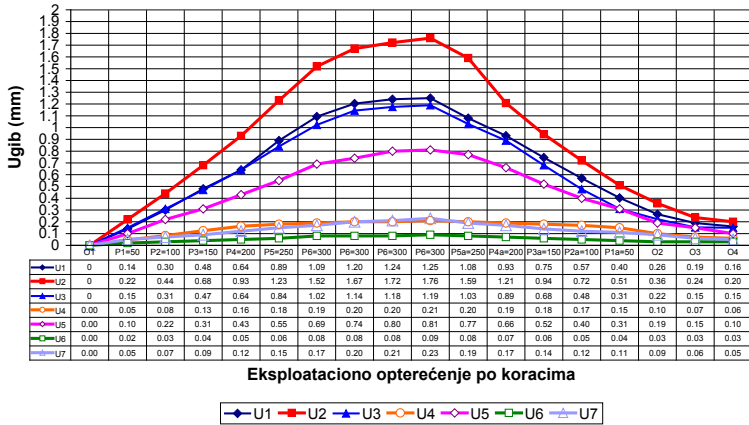
povremeno opterećenje je nanošeno u 6 faza (P1 – P6) ravnomerno sa korakom od 50 kg/m^2 , od krajeva prema sredini statičkog raspona konstrukcije sve do maksimalnih 300 kg/m^2 (Foto 5).

2.1. Ispitivanje statičkih karakteristika

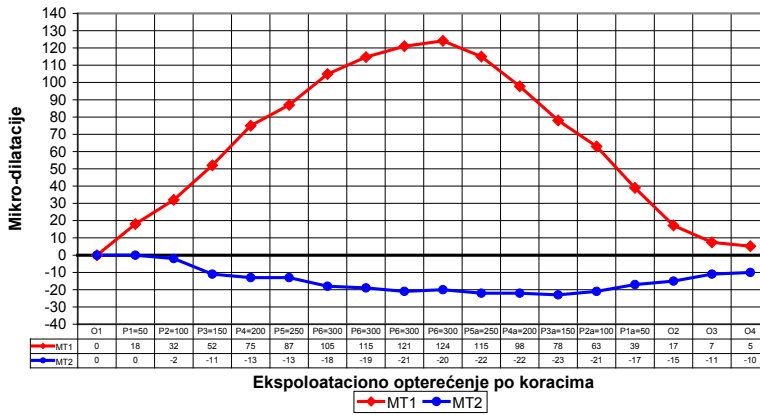


Slika 1. Raspored instrumenata i položaj probnog opterećenja.

DIJAGRAM UGIBA MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE
PRI PROBNOM OPTEREĆENJU

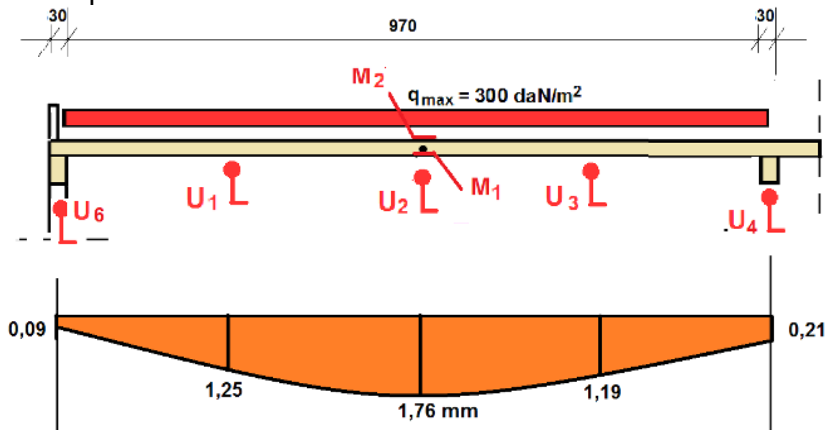


DIJAGRAM DILATACIJA U ARMATURI I BETONU
PRI PROBNOM OPTEREĆENJU

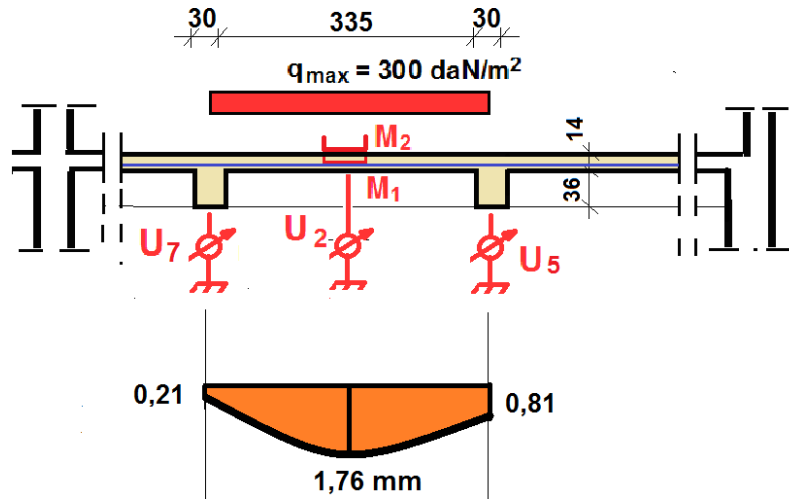


□ Prikaz dijagrama maksimalno merenih ugiba međuspratne konstrukcije pod probnim opterećenjem

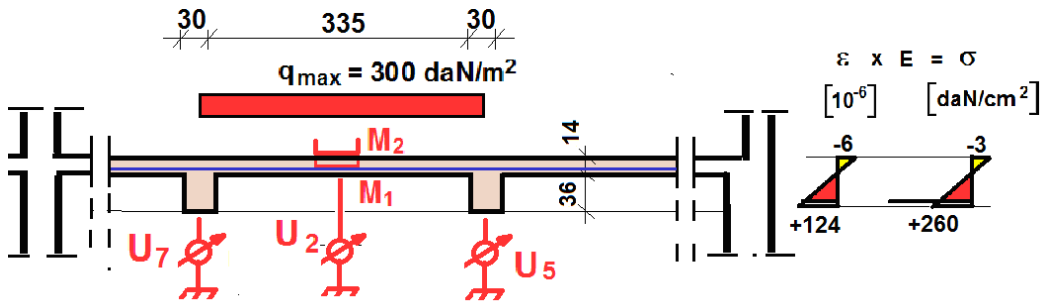
- Podužni pravac



- Poprečni pravac

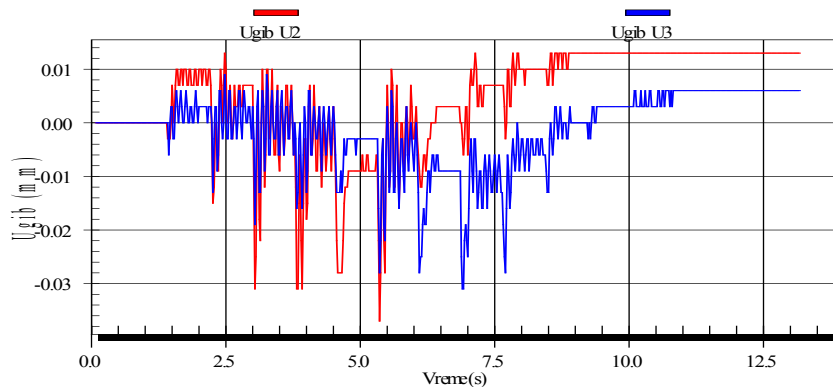


- Prikaz dijagrama maksimalno merenih dilatacija i napona u armaturi i betonu

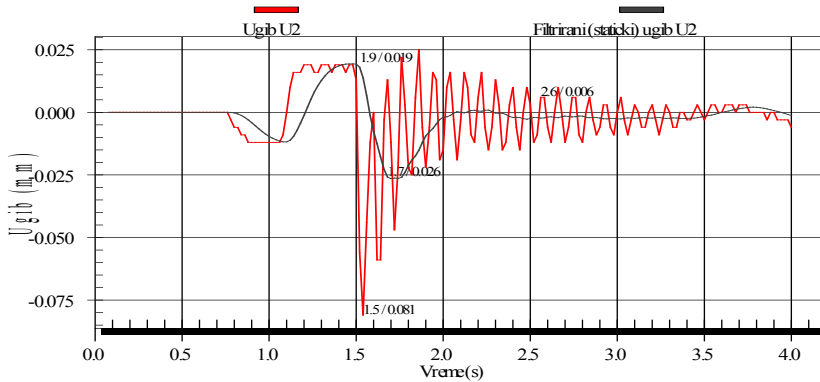


2.2. Ispitivanje dinamičkih karakteristika međuspratne konstrukcije

DIJAGRAMUGIBA PRI HODU PREKO PLOČE PRELAZ JEDNE OSOBE



ANALIZA SIGNALA IZ UGIBA U2
SKOK JEDNE OSOBE U POLOVINI RASPONA

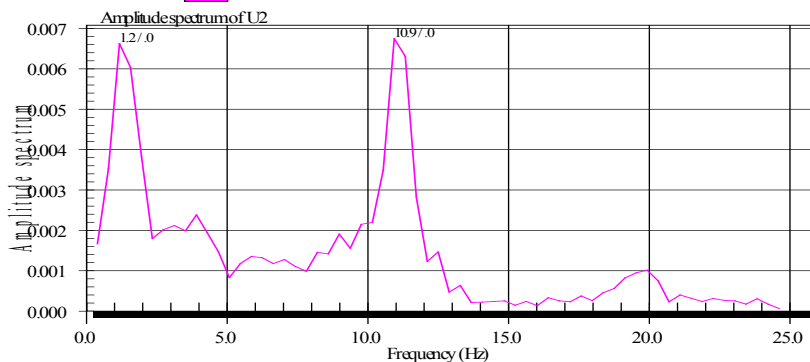


- Prigušenje konstrukcije iz ugiba u polovini raspona – U2

$$(\text{logaritamski dekrement}): \delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n} = \frac{1}{8} \cdot \ln \frac{0,019}{0,011} = 0,144$$

- Dinamički koeficijent: $\varphi = \frac{y_{din}}{y_{stat}} = \frac{0,081}{0,026} = 3,11$

FFT ANALIZA SIGNA IZ UGIBA
SKOK JEDNE OSOBE U POLOVINI RASPONA



- Karakteristične frekvencije oscilovanja iz dijagrama ugiba u polovini raspona – U2: $f_1=1,2$ Hz; $f_2=10,9$ Hz

3. ZAKLJUČCI O STANJU MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE

Na osnovu sprovedenih istražnih radova, kontrolnog statičkog proračuna i ispitivanja na uticaje od probnog statičkog i dinamičkog opterećenja može se zaključiti:

1) Izmereni maksimalni ugib u sredini raspona od $y_{pmax}=1,76$ mm, zajedno sa računskim ugibom od sopstvene težine $y_{gmax}=8,11$ mm daje maksimalni ugib od $y_{max}=9,87$ mm, što predstavlja $y/L=1/370$ i manji je od dozvoljenih $L/200$.

2) Maksimalni računski ugib za naneto probno opterećenje iznosi $y_{p,rač}=3,25$ mm. Odnos računskog i merenog ugiba $y_{p,rač}/y_{p,mer}=3,25/1,76=1,85 > 1,0$, što znači da postoji potreban koeficijent sigurnosti.

3) Maksimalni mereni zaostali ugib iznosio je $y_{p,zaost}=0,20$ mm, a odnos $y_{p,zaost}/y_{p,max}=(0,20/1,76)\cdot 100=11\% < 25\%$, pa i po ovom kriterijumu na osnovu tačke 5.1 standarda SRPS U.M1.047 za armiranobetonske konstrukcije uslov je zadovoljen.

4) Merene dilatacije, odnosno naponi u zategnutoj armaturi i pritisnutoj zoni betona pokazuju vrednosti koje su manje od dozvoljenih. Izmereni maksimalni napon od probnog opterećenja u zategnutoj armaturi je $\sigma_{max}=+260$ daN/cm², a u pritisnutom betonu $\sigma_{max}=-3$ daN/cm².

5) Nisu uočene konstruktivne prsline u međuspratnoj konstrukciji (ploči i podvlakama – gredama), kao ni oštećenja zidnih platana i stubova. Do pojave prsline u betonu tokom probnog opterećenja nije došlo.

7) Izmereni dinamički parametri (sopstvena frekvencija, dinamički koeficijent i prigušenje) dobijani kretanjem ljudi (hod i skok) po međuspratnoj konstrukciji pokazuju povoljne rezultate odnosno zadovoljavajuću krutost konstrukcije. Merena frekvencija iznosila je 10,8 Hz, a dinamički koeficijent je $\varphi=3,11-3,31$, dok je logaritamski dekrement $\delta=0,144$.

8) Na osnovu sprovedenih istražnih radova i ispitivanja zaključuje se da je stanje konstruktivnih elemenata međuspratne konstrukcije (ploče, greda i stubova) objekta u konstruktivnom smislu zadovoljavajuće i da je očuvan potreban kapacitet nosivosti ovih konstruktivnih elemenata

4. REZULTATI NAKNADNOG UTVRĐIVANJA PRITISNE ČVRSTOĆE UGRAĐENOG BETONA

Ispitivanje pritiskne čvrstoće sprovedeno je kernovanjem (*Foto 4*) i sklerometrisanjem (odskočnim čekićem) (*Foto 5*). Kalibracija dobijenog odskočnog broja vršena je na bazi rezultata dobijenih ispitivanja pritiskne čvrstoće na uzorcima oblika cilindra prečnika 100 mm.

Ustanovljene su vrednosti pritiskne čvrstoće: 1) U međuspratnoj konstrukciji $f_{pb}=36\div 38$ MPa; 2) U stubovima $f_{pb}=38\div 39$ MPa; 3) Zidno platno $f_{pb}=38$ MPa; 4) Greda $f_{pb}=34$ MPa.

5. ZAKLJUČCI O STANJU KONSTRUKCIJE

Na osnovu uvida u dostupnu tehničku dokumentaciju i detaljnog pregleda objekta, kao i na osnovu sprovedenih istražnih radova u domenu utvrđivanja čvrstoće betona, kontrolnog statičkog proračuna i ispitivanja na uticaje od probnog statičkog i dinamičkog opterećenja međuspratne armiranobetonske konstrukcije nedovršenog objekta Dom kulture u Kuršumliji iznose se sledeći zaključci:

1) Rezultati utvrđivanja pritiskne čvrstoće ugrađenog betona pokazuju zadovoljavajuće vrednosti, a pritiskna čvrstoća sa kojom se mogu sprovoditi dalje analize odgovara marki betona MB 35.

2) Rezultati ispitivanja međuspratne konstrukcije, pokazuju da je očuvana njena nosivost i upotrebljivost. Ovaj zaključak izvodi se na osnovu ispitivanja na uticaj probnog opterećenja i dobijenih rezultata u pogledu ostvarenog globalnog koeficijenta sigurnosti koji iznosi $\eta=1,85$ i elastičnosti konstrukcije dokazane povratnom deformacijom u granicama propisanih vrednosti ($y_{zaost}=11\% < 25\%$).

3) Uočena su oštećenja na betonskim elementima nastala usled procurivanja vode, što je dovelo do karbonatizacije betona. Ovo nisu konstruktivna oštećenja i moguće ih je sanirati reparaturnim postupcima.

4) Usled nedovoljne debljine zaštitnog sloja betona tokom gradnje i dejstva atmosferskih uticaja (vode i mraza) na pojedinim konstruktivnim elementima došlo je do ogoljavanja armature i njene korozije. I ova oštećenja moguće je sanirati reparaturnim postupcima.

5) U delu objekta gde se nalazi pozornica, zbog nesolidne gradnje vidljiva je izražena segregacija betona, ogoljenost armature i njena korozija. Ovde će verovatno biti nužno pristupiti radikalnijim merama sanacije, računajući i rušenje pojedinih zidnih platana.

6) Istražni radovi na temeljima objekta nisu vršeni, ali nije uočeno sleganje koje može imati posledice po stabilnost objekta, niti pojava konstruktivnih prslina usled sleganja.

7) Na osnovu sprovedenih istražnih radova i ispitivanja zaključuje se da je stanje nedovršeneog objekta u konstruktivnom smislu zadovoljavajuće, bez obzira na višedecenijsku izloženost atmosferskim uticajima, a uz neophodne mere reparaturne sanacije moguće je (i potrebno) što pre dovršiti započetu gradnju i privesti objekat nameni. O merama sanacije neophodno je sačiniti poseban elaborat.

6. FOTO DOKUMENTACIJA



Foto 1. Izgled objekta (Dom kulture u Kuršumliji)



Foto 2. Raspored instrumenata (U1-U7), M1

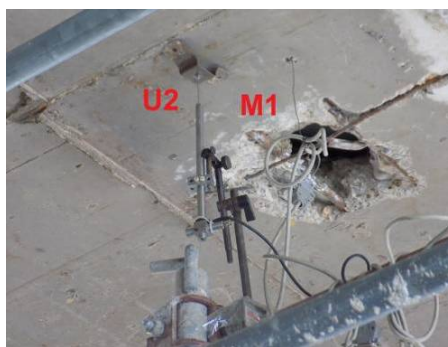


Foto 3. LVDT (U2) i merna traka (M1)



Foto 4. Kernovanje



Foto 5. Sklerometrisanje



Foto 6. Probni teret ($q_{max} = 300 \text{ daN/m}^2$)

LITERATURA

- [1] Ekspertiza stanja konstrukcije Doma kulture u Kuršumliji, GAF Niš 2022.
- [2] M. Radojković: **Ispitivanje konstrukcija**.
- [3] **SRPS U. M1. 047**, 1987.
- [4] Ž. Petrović, S. Ranković, M. Mijalković: **Primena FRP materijala u ojačavanju armiranobetonskih konstrukcija**, Zbornik radova GAF Niš 36, 34-46, 2021.
- [5] S. Ranković, M. Milinković, D. Petković, D. Živković: **Ispitivanje tipske hale sa fero cementnom ispunom na uticaj probnog opterećenja**, Zbornik radova GAF Niš 27, 107-114, 2012.

primljen: 23.01.2023.
korigovan: 11.02.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

UDK : 627.131:551.583(497.11)

izvorni naučni rad

OCENA PROSEČNIH GODIŠNJIH PROTOKA U BUDUĆIM KLIMATSKIM USLOVIMA – STUDIJA SLUČAJA U SLIVU JUŽNE MORAVE

Nikola Đokić¹
Borislava Blagojević²
Slaviša Trajković³

Rezime

U radu se razmatra uticaj klimatskih promena na srednje vode u gornjem i srednjem toku Južne Morave za dvadeset hidrološki izučениh slivova. Osmotreni podaci i podaci predviđenih vrednosti padavina i temperatura za razmatrano područje dobijeni su iz regionalnog klimatskog modela EBU-POM i globalnog klimatskog modela EC-Earth3-Veg. Razmatra se promena srednjih voda kroz četiri različita perioda predikcije i četiri scenarija. Korišćena je metoda Langbajna koja omogućava praćenje promene prosečnih protoka kroz promenu padavina i temperatura u višegodišnjem periodu. Rezultati se značajno razlikuju u zavisnosti od razmatranih scenarija i perioda predviđanja, ali svakako ukazuju na značajnu tendenciju opadanja prosečnih protoka, koja će biti izraženija idući ka kraju XXI veka.

Ključne reči: klimatske promene, srednje vode, metoda Langbajna, EBU-POM, EC-Earth3-Veg

ASSESSMENT OF MEAN FLOWS UNDER FUTURE CLIMATE CONDITIONS - A CASE STUDY IN THE JUŽNA MORAVA RIVER BASIN

Abstract

The paper discusses the impact of climate change on the mean flow for twenty gauged catchments in the upper and middle basin of the Južna Morava River. Gauged and predicted precipitation and temperature data for the considered territory were obtained from the regional climate model EBU-POM and the global climate model EC-Earth3-Veg. The change in mean flows is considered through four different prediction periods and four scenarios. The method of Langbein is used for mean flow estimation, which enables monitoring the change in mean flows through changes in precipitation and temperatures over a long period. The results differ significantly depending on the considered scenarios and the prediction period, indicating a significant decreasing tendency in mean flows, that will be more pronounced towards the end of the XXI century .

Key words: Climate Change, Mean Flows, Method of Langbein, EBU-POM, EC-Earth3-Veg

¹ Student DAS, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, nikolavdjokic995@gmail.com

² Docent dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

³ Prof. Dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, slavisa.trajkovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Danas postoje brojne indikacije koje ukazuju na globalnu narušenost klime, što dovodi u pitanje bezbednost čovečanstva [1]. Izmenjeni klimatski uslovi prisutni su i u Srbiji, a sektor voda je njima posebno pogođen [2]. Prethodni problem se bazirao na nepostojanju dovoljnog broja dostupnih i javnih podataka o promenama klime koje bi bilo moguće uzeti u obzir prilikom raznih analiza i projektovanja. Sada je moguće koristiti mnoge dostupne izvore – globalne i/ili regionalne klimatske modele, koji pokrivaju različite teritorije, imaju različite rezolucije i koji obuhvataju promenu različitih bioklimatskih parametara u određenom vremenskom opsegu sa kratkim vremenskim korakom. Klimatski modeli poseduju različite prostorne i vremenske rezolucije koje utiču na mogućnosti sagledavanja izučavanih pojava, o čemu je razmatrano u više istraživanja [3-5]. U okviru ovog rada korišćeni su podaci iz regionalnog klimatskog modela (RKM) EBU-POM (Eta Belgrade University-Prinstone Ocean Model) [6] i baze podataka World Clim (WC) [7], iz koje su korišćeni podaci globalnog klimatskog modela (GKM) EC-Earth3-Veg [8].

Sadašnja i buduća situacija u pogledu raspoloživih količina vode, može se prikazati preko različitih pokazatelja. Jedan od njih jeste prosečna godišnja količina domicilnih voda po stanovniku, koja je za Srbiju procenjena na 1700 m³ [2], čime se Srbija svrstava u vodom najsiromašnije države Evrope. Drugi pokazatelji odnose se na vodnost rečnog sliva, od kojih je najčešće korišćena veličina prosečni protok u višegodišnjem periodu, određen na osnovu analize dovoljno dugih nizova izmerenih srednjih dnevnih protoka. Ovakav pristup moguće je sprovesti za profile u kojima se vrše merenja/osmatranja protoka (izučeni slivovi). Na lokacijama na kojima nema osmatranja, primenjuju se metode za neizučene slivove. U nedavnim istraživanjima objavljenim za teritoriju Srbije [9-12], ispitivano je korišćenje metode Langbajna za ocenu srednjih voda, kada su ulazni podaci dobijeni sa digitalnih karata. Ova empirijska metoda za određivanje prosečnih protoka u profilima neizučenih slivova, kao ulazne podatke koristi prosečne godišnje padavine i temperaturu na razmatranom slivu. Istraživanja urađena za profile hidroloških stanica (HS) u periodima u kojima se raspolagalo podacima osmatranja, ukazala su na neophodnost kalibrisanja parametra θ koji figuriše u Langbajnovoj metodi, kako bi se dobila bolja ocena srednjih voda u neizučenim slivovima na teritoriji Srbije [9-12].

Cilj ovog istraživanja je da se na osnovu podataka iz dva klimatska modela prati promena prosečnih godišnjih protoka u višegodišnjem periodu u skladu sa promenom padavina i temperatura, za koje se vrše različite projekcije u budućnosti, trenutno do 2100. godine. Izabrana oblast izučavanja je gornji i srednji sliv reke Južne Morave, na kojoj će se srednje vode ocenjivati metodom Langbajna. Istovremeno će se kalibrisati vrednosti parametra θ jednačine u profilima HS u izučavanoj oblasti.

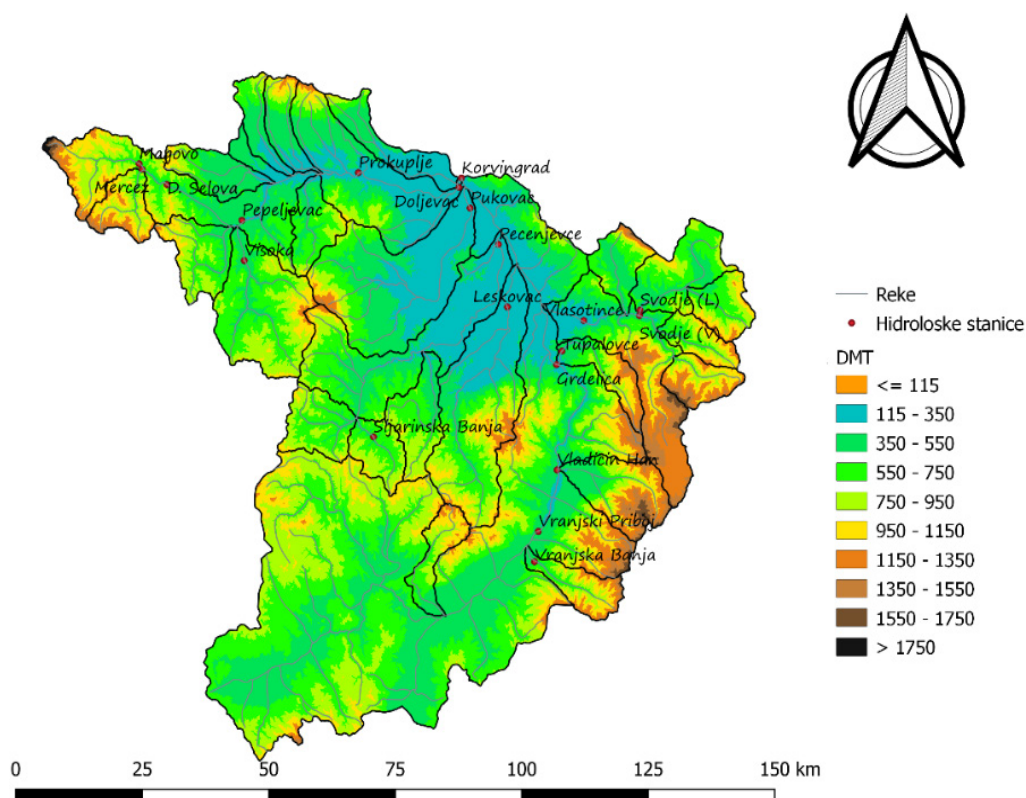
Prema Izveštaju o uticaju klime na vodoprivredu i vodne resurse iz 2020. godine [13], generalno će doći do smanjenja dostupnosti vode, a oblast Južne Morave je u tome posebno izdvojena. Predviđa se da će u periodu 2071-2100 doći do značajnog smanjenja protoka, pogotovu na reci Toplici (i do 40%) u odnosu na period 1961-1990.

2. METODOLOGIJA

2.1. Područje istraživanja

Za ispitivanje uticaja klimatskih promena na srednje vode izabran je gornji i srednji deo sliva Južne Morave, (Slika 1). Istražvanje je podeljeno u dve faze. U prvoj fazi [14,15], pripremljene su podloge za drugu fazu. Epilog prve faze je sledeći:

- Izabrano je 20 HS na području ispitivanja (Slika 1, Tabela 1),
- Izvršeno je razgraničenje rečnih slivova do profila HS,
- Pripremljeni su klimatski podaci (padavine i temperature) iz dva klimatska modela za četiri dvadesetogodišnja perioda u budućnosti.



Slika 1. Gornji srednji sliv Južne Morave sa prikazom reljefa, položajem HS i granicama rečnih slivova

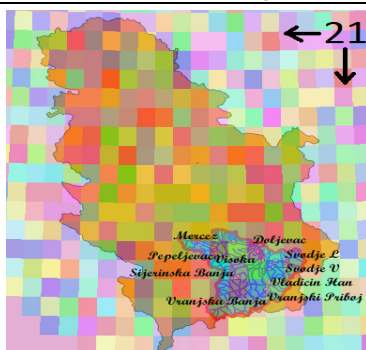
Tabela 1. Spisak razmatranih slivova do profila HS

Redni broj	Hidrološka stanica	Površina sliva A (km ²)	Reka	Slivno područje
1	Magovo	180	Toplica	Južna Morava
2	Donja Selova	353	Toplica	
3	Pepeljevac	986	Toplica	
4	Prokuplje	1774	Toplica	
5	Doljevac	2083	Toplica	
6	Merćez	112.6	Lukovska	
7	Svođe V.	350	Vlasina	
8	Vlasotince	972	Vlasina	
9	Svođe L.	318	Lužnica	
10	Leskovac	500	Veternica	
11	Pečenjevce	891	Jablanica	
12	Pukovac	561	Pusta	
13	Visoka	370	Kosanica	
14	Koringrad	9396	Južna Morava	
15	Sijarinska Banja	95	Banjska	
16	Tupalovce	98.1	Kozarska	
17	Vranjska Banja	108.3	Banjska	
18	Vladičin Han	3052	Južna Morava	
19	Vranjski Priboj	2775	Južna Morava	
20	Grdelica	3782	Južna Morava	

2.2 Klimatski modeli

2.2.1 Regionalni klimatski model

Ocena uticaja klimatskih promena na srednje vode u gornjem i srednjem delu sliva Južne Morave sprovedena je na osnovu rezultata simulacija RKM EBU-POM. Ovaj model u potpunosti obuhvata teritorije Srbije i Crne Gore i deo teritorija zemalja sa kojima se pomenute države graniče. Model raspolaže podacima za period od 1951. do 2100. godine. Za ovaj period moguće je preuzeti dnevne i/ili mesečne vrednosti prosečnih, minimalnih i maksimalnih temperatura, kao i ukupnu visinu padavina. Predikcija je sprovedena za dva različita klimatska scenarija – A1B i A2. Klimatski scenario A1B predviđa umeren intenzitet, a scenario A2 jači intenzitet klimatskih promena. U okviru ovog istraživanja korišćeni su podaci o mesečnim prosečnim temperaturama i sumama padavina za referentni period, s tim da je obuhvaćen period od 1970. godine (radi poređenja sa podacima iz WC) i period predikcije. Preuzeti podaci mogu se učitati u rasterskoj formi rezolucije od 1 ugaonog stepena, što odgovara veličini piksela od približno 30x30km, koji se sastoje od 21 reda i 21 kolone (Slika 2).



Slika 2. Ilustracija rasterskih podataka o mesečnim temperaturama preuzetih iz EBU-POM RKM za teritoriju Republike Srbije

2.2.2 Globalni klimatski model

Podaci GKM preuzeti su iz javno dostupne baze klimatskih podataka World Clim 2.1, koja je objavljena januara 2020. godine. Iz ove baze moguće je preuzeti podatke 23 GKM i četiri različita scenarija projektovanih socioekonomskih globalnih promena do 2100. godine (*Shared Socio-economic Pathways* (SSPs): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0, i SSP5-8.5. Scenariji su nabrojani idući od onog koji predviđa najmanji intenzitet ka onom koji predviđa najveći intezitet klimatskih promena. Baza WC sadrži podatke visoke prostorne rezolucije (najbolja dostupna rezolucija je 30 ugaonih sekundi, što odgovara veličini piksela od približno 1x1km). Pored visoke prostorne rezolucije, WC raspolaže i sa 19 bioklimatskih varijabli. U prvoj fazi ovog istraživanja prilikom verifikacije padavina i temperatura dobijenih za dva razmatrana klimatska modela sa osmotrenom vrednostima, ustanovljeno je da podaci iz WC daju nešto bolje rezultate.

2.3 Metoda Langbajna

Metoda Langbajna [11] koristi podatke o prosečnim temperaturama i prosečnim godišnjim padavinama na slivovima u dužem periodu. Prosečni godišnji oticaj dobija se na osnovu sledeće veze:

$$Q_0/E = f (P_0/E) \quad (1)$$

pri čemu je:

Q_0 – prosečni oticaj sa sliva,

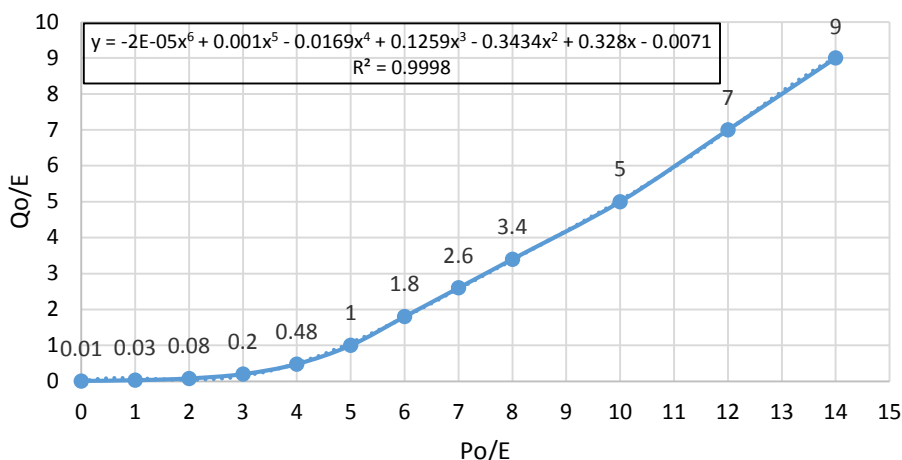
P_0 – prosečna godišnja visina padavina na slivu,

E – temperaturni faktor, čija se vrednost dobija prema sledećem izrazu:

$$\text{Log } E = 0,027 * T_0 + \theta \quad (2)$$

U jednačinama (1) i (2) vrednost padavina figuriše u cm, te se i sloj oticaja dobija takođe u cm.

Na slici 3 grafički je prikazana zavisnost (1), sa jednačinom korišćenom prilikom proračuna odnosa Q_0/E za različite vrednosti odnosa P_0/E . Vrednost x u jednačini datoj na slici predstavlja odnos P_0/E , a y predstavlja odnos Q_0/E .



Slika 3. Zavisnost Q_o/E od P_o/E u metodi Langbajna

U formuli za proračun temperaturnog faktora E figuriše parametar Θ koji u opštem slučaju ima vrednost 0,886. Međutim, ova vrednost je dobijena na osnovu podataka sa područja SAD, a rezultati sprovedenih istraživanja za slivove koje se nalaze na teritoriji Republike Srbije [9-12] pokazali su da je potrebno korigovati vrednosti ovog parametara kako bi se dobile bolje ocene srednjih voda za naše područje. Shodno tome, u ovom radu je sprovedena kalibracija ovog parametara na osnovu izmerenih prosečnih protoka u profilima HS.

Vrednost prosečnog godišnjeg protoka Q_{sr} dobija se množenjem dobijenog sloja oticaja prema metodi Langbajna sa površinom sliva A , i deljenjem sa vremenskim intervalom od jedne godine:

$$Q_{sr} \text{ (m}^3\text{/s)} = Q_o \text{ (m)} * A \text{ (m}^2\text{)} / T_{god} \text{ (sec)} \quad (3)$$

2.4 Podaci o prosečnim godišnjim protocima

U našim uslovima, retko se raspolože potpunim nizovima osmotrenih podataka. Prekidi u nizovima predstavljaju problem koji dobija na snazi zavisno od dužine prekida. Na osnovu podataka iz hidroloških godišnjaka [16] ustanovljeno je da 8 HS ima neprekidne nizove prosečnih protoka, dok 12 HS ima prekide u razmatranom periodu od 1970. do 2000. godine (Tabela 2).

Najveći broj podataka nedostaje za HS Vranjska Banja (51,6 %) Magovo, Donja Selova, Pepeljevac, Vlasotinca, Svođe/Lužnica i Doljevac.

Da bi se istraživanje sprovedelo za celo područje, podaci koji nedostaju dopunjeni su primenom metode Langbajna na osnovu podataka iz RKM. Rezultati dobijeni za stanice kod kojih je izvršeno takvo popunjavanje, posmatraće se nadalje sa oprezom, u odnosu na rezultate sa stanica koje raspolažu svim osmotrenim podacima.

EBU-POM pruža podatke o temperaturama i padavinama za svaku godinu u periodu od 1951. do 2100. godine, mada je zbog prilagođavanja podacima iz WC započeto sa analizom od 1970. godine. Ova činjenica je omogućila da se za

referentni period (1970-2000) uzmu samo godine kada ima podataka o prosečnim godišnjim protocima. Za taj period su sračunate prosečne vrednosti temperature i ukupnih godišnjih padavina, što je dalje omogućilo proračun prosečnog višegodišnjeg protoka primenom metode Langbajna za određenu HS.

Tabela 2. Raspoloživost prosečnih godišnjih protoka u periodu od 1970. do 2000. godine

Redni broj	Hidrološka stanica	Površina sliva A (km ²)	Godine bez podataka/nepotpuni podaci	Broj godina bez podataka/ sa nepotpunim podacima	Procentualni nedostatak podataka
1	Magovo	180	1993-2000	8	25,8
2	Donja Selova	353	1994-2000	7	22,6
3	Pepeljevac	986	1991,1994-2000	8	25,8
4	Prokuplje	1774	1993-1996	4	12,9
5	Doljevac	2083	1998-2000	6	19,4
6	Merćez	112,6	1993-2000	8	25,8
7	Svođe V	350		0	0,0
8	Vlasotince	972	1994-2000	7	22,6
9	Svođe L	318	1994-2000	7	22,6
10	Leskovac	500	1997-2000	4	12,9
11	Pečenjevce	891		0	0,0
12	Pukovac	561		0	0,0
13	Visoka	370		0	0,0
14	Korvingrad	9396		0	0,0
15	Sijarinska Banja	95		0	0,0
16	Tupalovce	98,1		0	0,0
17	Vranjska Banja	108,3	1970-1981, 1990, 1998-2000	16	51,6
18	Vladičin Han	3052	1999-2000	2	6,5
19	Vranjski Priboj	2775	1979-1981	3	9,7
20	Grdelica	3782		0	0,0

Nakon toga izvršena je kalibracija parametra Θ u metodi Langbajna, kako bi se dobila 'stvarna' vrednost osmotrenog prosečnog protoka za taj period. Dalje je sa kalibrisanim parametrom Θ sračunat svaki prosečni godišnji protok koji nedostaje koristeći podatke iz EBU-POM-a samo za tu godinu za koju isti nedostaje

2.5 Kalibracija i verifikacija parametra Θ

Kalibracija parametra Θ izvršena je za period 1970-2000, posebno za regionalni a posebno za globalni klimatski model.

Nakon kalibracije parametra Θ izvršena je i njegova verifikacija na protocima za period 2001-2020. Verifikacija je sprovedena za podatke iz modela EBU-POM.

Verifikacija za globalni model nije sprovedena, zato što globalni model sadrži za taj period samo podatke o padavinama.

3. REZULTATI

U ovom radu je polazište identično istraživanju [11], a to je da svaki izučeni sliv ima svoju sopstvenu vrednost parametra Θ , koja kroz jednačinu Langbajna omogućava da se dobije ista vrednost prosečnog protoka kao ona koja je dobijena na osnovu osmatranja u profilu HS.

Kalibrisane vrednostima parametra Θ dobijene na osnovu podloga iz klimatskih modela u ovom istraživanju i radovima [9, 11] prikazane su u tabeli 3.

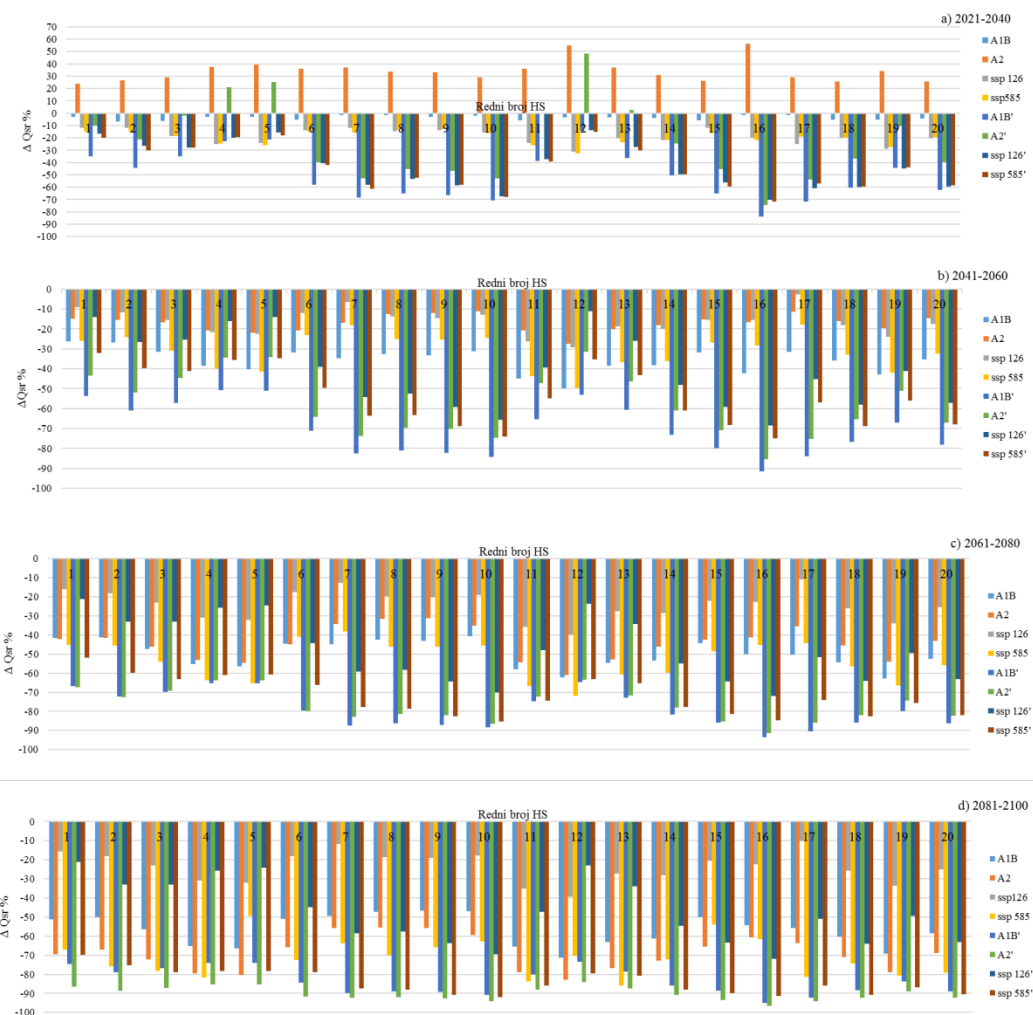
Tabela 3. Vrednosti parametra Θ prema različitim rezultatima istraživanja. Istaknute su pouzdane stanice kod kojih postoje svi podaci osmatranja protoka

Redni broj	Reka	Stanica	Površina sliva (km ²)	Parametar Θ			
				Podloga		[9]	[11]
				EBU-POM	WC		
1	Toplica	Magovo	180	0,74	0,838	0,862*	0,864
2	Toplica	Donja Selova	353	0,703	0,808		/
3	Toplica	Pepeljevac	986	0,763	0,829		0,867
4	Toplica	Prokuplje	1774	0,838	0,888		/
5	Toplica	Doljevac	2083	0,844	0,894		/
6	Lukovska	Merćez	112,6	0,623	0,732		0,751
7	Vlasina	Svođe V	350	0,579	0,675		0,837
8	Vlasina	Vlasotince	972	0,582	0,696		/
9	Lužnica	Svođe L	318	0,565	0,656		0,795
10	Veternica	Leskovac	500	0,588	0,663		/
11	Jablanica	Pečenjevce	891	0,815	0,853		/
12	Pusta	Pukovac	561	0,877	0,919		/
13	Kosanica	Visoka	370	0,809	0,868		0,896
14	Južna Morava	Korvingrad	9396	0,745	0,804		/
15	Banjska	Sijarinska Banja	95	0,642	0,718		0,856
16	Kozarska	Tupalovce	98,1	0,451	0,597		0,676
17	Banjska	Vranjska Banja	108,3	0,651	0,785		0,936
18	Južna Morava	Vladičin Han	3052	0,709	0,753		/
19	Južna Morava	Vranjski Priboj	2775	0,813	0,854		/
20	Južna Morava	Grdelica	3782	0,696	0,756		/

*Prosečna (regionalna) vrednost Θ za sliv Južne Morave

U radu [9] obrađeno je deset HS (Vranjska banja, Tupalovce, Svođe, Magovo, Merčez, Visoka, Strazimirovci, Radikine Bare, G. Toponica, Pepeljevac) sa sliva Južne Morave ali prikazana je samo prosečna (regionalna) vrednost Θ za grupu stanica, ne i za svaku HS ponaosob. U radu [11] su grafički prikazane vrednosti Θ na lokacijama HS. Nisu obrađene sve stanice kao u ovom istraživanju.

Rezultati ocene prosečnih protoka u budućem periodu prikazani su na slici 4.



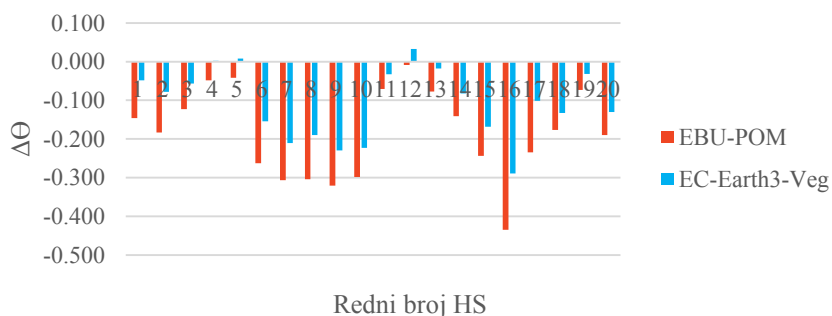
Slika 4. Procentualne razlike prosečnih protoka u četiri dvadesetogodišnja perioda u budućnosti u odnosu na referentni period 1970-2000

Rezultati ocene prosečnih godišnjih protoka na slici 4 su dati preko procentualnih razlika prosečnih protoka za četiri perioda predviđanja, u odnosu na referentni period 1970-2000. Prosečni protoci su određeni za dve varijante vrednosti parametra θ u Langbajnovoj metodi: 1) kalibrisanu i 2) originalnu Langbajnovu vrednost (0,886). Radi razlikovanja, kod protoka dobijenih originalnim θ , pored scenarija dodata je oznaka ' (npr. A2'). U okviru jednog dijagrama obuhvaćene su vrednosti dobijene za četiri različita scenarija, tj. po dva za oba

klimatska modela, dakle, osam grupa podataka. Pozitivne vrednosti ukazuju na povećanje protoka u odnosu na referentni period, negativne, na smanjenje.

4. DISKUSIJA

Razlike koje su se pojavile u pogledu vrednosti parametra Θ (Tabela 3) su očekivane, zbog različitih referentnih perioda u ovom istraživanju i u radu [11] kao i različitih izvora podataka. Sve vrednosti Θ iz ovog istraživanja su manje u odnosu na vrednosti u radu [11] na HS za koje su prikazane, pri čemu su bliže vrednosti dobijene na osnovu podloga iz klimatskog modela EC-Earth3-Veg (WC) u odnosu na EBU-POM. Na slici 5 su prikazane razlike parametra Θ u odnosu na originalnu vrednost (0,886).



Slika 5. Razlika vrednosti korigovanih parametara Θ u odnosu na originalnu vrednost

Najveće razlike vrednosti su se javile za HS Tupalovce (br. 16), gde kalibrisana vrednost Θ iznosi 0,451 kod EBU-POM, a kod globalnog modela, 0,597. Ova HS ima sve osmotrene podatke i spada u pouzdane stanice. Evidentno je sa prethodnog dijagrama (Slika 5) da su veće razlike Θ dobijene za podatke iz RKM. Najmanje razlike bile su kod HS Prokuplje (br. 4), HS Doljevac (br. 5) i HS Pukovac (br. 12). Skoro u svim slučajevima parametar Θ ima nižu vrednost u odnosu na originalnu (0,886).

Na osnovu razmatranja razlika protoka u odnosu na period 1970-2000, prikazanih na slici 4, evidentno je da svi razmatrani scenariji ukazuju na smanjenje količina raspoložive vode na razmatranom području posle 2041. godine. Jedino povećanje javlja se u periodu 2021-2040 (Slika 4a) prema RKM za scenario A2, kada se prosečan višegodišnji protok ocenjuje koristeći kalibrisanu vrednost parametra Θ i njegovu originalnu vrednost - oznaka A2'. U ovom periodu najveće su i razlike između dva razmatrana modela. Najveća promena očekuje se za HS Visoka za period 2081-2100 i iznosi -85%, a malo niže vrednosti dobijaju se za HS Pečenjevce i Pukovac (-83%), HS Prokuplje (-81%), kada se sagledaju samo vrednosti protoka dobijenih sa kalibrisanom vrednošću Θ .

Za slučajeve kada je korišćena originalna vrednost Θ , dobijene su najveće procentualne razlike protoka za sva četiri perioda predikcije, pri čemu tu prednjače vrednosti iz RKM EBU-POM (A1B' i A2'). Rezultati ovog istraživanja u skladu su sa zaključkom da se na slivu reke Toplice očekuje veliki deficit protoka [13], s tim da rezultati ovog istraživanja ukazuju na znatno veći problem. Najmanje promene očekuju se za HS Sijarinska Banja i HS Tupalovce (stanice najmanje pripadajuće površine sliva), ali su i one značajne.

U slučaju ocene protoka na osnovu podataka o padavinama i temperaturi dobijenih na osnovu GKM, za scenario SSP1-2.6 ne dobija se konstantno smanjenje protoka idući ka 2100. godini, kao što je u ostalim scenarijima bio slučaj.

5. ZAKLJUČAK

Ocnom srednjih voda dobija se uvid u vodnost sliva. Analiza prosečnih protoka je uopšte važna u vodoprivredi i hidrotehnici, s obzirom da se rezultati takve analize koriste prilikom sagledavanja optimalnog rada sistema i dimenzionisanja određenih objekata.

Količina raspoložive vode u budućim klimatskim uslovima, ispitivana je u ovom istraživanju preko promene prosečnog godišnjeg protoka u višegodišnjem periodu. Metoda Langbajna za ocenu prosečnih godišnjih protoka izabrana je zbog svoje jednostavnosti - uključuje samo dva ulazna parametra, padavine i temperaturu vazduha. U istraživanju su korišćeni rezultati simulacije buduće klime pomoću dva klimatska modela od mnogih koji su danas javno dostupni. Time je omogućen i bliži uvid u ponašanje parametra Θ metode Langbajna, koji je već podvrgnut preispitivanju za teritoriju Srbije, pogotovu u karstnim predelima, što se jasnije može videti u radu [8], kojim je obuhvaćena veća teritorija.

Sveobuhvatnim razmatranjem rezultata sprovedenog istraživanja ističu se sledeći zaključci:

- Uticaj promene padavina i temperature u budućnosti na promenu srednjih voda u gornjem i srednjem toku Južne Morave je značajan,
- GKM EC-Earth3-Veg, model bolje prostorne rezolucije, dao je kalibrisane vrednosti parametra Θ u Langbajnovoj metodi, koje više odgovaraju vrednostima u dosadašnjim istraživanjima, u odnosu na model EBU-POM,
- Na rezultate ocene srednjih voda metodom Langbajna značajan uticaj ima preciznost kalibracije parametra Θ ,
- Evidentne su velike razlike dobijenih prosečnih godišnjih protoka u zavisnosti od razmatranog scenarija, što može predstavljati problem prilikom donošenja odluka koja se odnose na buduće sisteme i objekte.

IZJAVA

Rad je delom finansiran iz sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37005. Autori se zahvaljuju anonimnim recenzentima na korisnim primedbama koje su doprinele kvalitetu rada.

LITERATURA

- [1] Slobodan Milutinović: **Priručnik za planiranje prilagođavanja na izmenjene klimatske uslove u lokalnim zajednicama u Srbiji**. *Stalna konferencija gradova i opština Srbije*, Beograd 2018.
- [2] Tina Dašić, Branislav Đorđević, Jasna Plavšić: **Upravljanje vodama u uslovima klimatskih promena**: https://grafar.grf.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/2534/bitstream_9740.pdf?sequence=1&isAllowed=y (03.06.2022.)

- [3] Maclean, I. M.: **Predicting future climate at high spatial and temporal resolution.** *Global change biology*, 26(2), 1003- 1011, 2020.
- [4] Abou Rafee, S. A., Uvo, C. B., Martins, J. A., Machado, C. B., & Freitas, E. D.: **Land Use and Cover Changes versus climate shift: Who is the main player in river discharge? A case study in the Upper Paraná River Basin.** *Journal of Environmental Management*, 309, 114651, 2022.
- [5] Zheng, Y., & Weng, Q.: Modeling the effect of climate change on building energy demand in Los Angeles county by using a GIS-based high spatial-and temporalresolution approach. *Energy*, 176, 641-655, 2019.
- [6] <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/model.html> (01.06.2022.)
- [7] https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim2.5m.html (05.06.2022.)
- [8] <http://www.ec-earth.org/> (15.06.2022.)
- [9] Jovan Blagojević, Jasna Plavšić, Samir Čatović, Andrijana Todorović: **Analiza srednjih voda u Srbiji na osnovu digitalnih karata padavina i temperatura.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, Vol. 50, No. 294-296 p. 177-187, 2018.
- [10] Urošev Marko, Štrbac Dragoljub, Kovačević-Majkić Jelena, Plavšić Jasna, Yamashkin A. Stanislav: **Spatial distribution of specific runoff in Serbia based on rainfall-runoff relationship.** *J. Geogr. Inst. Cvijic.* 70(3), pp. 203–214, 2020.
- [11] Ognjen Prohaska, Jasna Plavšić, Stevan Prohaska, Andrijana Todorović: **Kartiranje parametra metode Langbajna za proračun srednjih voda na neizučenicim slivovima na teritoriji Srbije.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, Vol. 51, No. 297-299 p. 99-109, 2019.
- [12] Blagojević, J., Blagojević, B., Mihailović, V., Radivojević, D. (2020) **Prediction of mean runoff in a small ungauged basin using raster climatological data.** *Bulletin of the Serbian Geographical Society.* Vol 100, No 2 (2020), p. 45-66. ISSN 0350-3593. <http://glasniksgd.rs/index.php/home/article/view/725>
- [13] Mirjam Vujadinović Mandić, Ana Vuković, Vladimir Đurđević, Dejan Đurović, Zorica Ranković-Vasić, Željko Dolijanović, Marija Ćosić, Dragan Stanojević, Aleksa Lipovac, Branislav Đorđević, Tina Dašić, Jasna Plavšić, Marijana Petrović, Dejan Stojanović, Saša Orlović, Marko Adamović, Marija Jevtić, Krunoslav Katić, Mina Petrić: **Analiza dostupnosti klimatskih i socioekonomskih informacija, uključujući klimatske podatke, podatke o rizicima i procenama pogodnosti i informacije o merama adaptacije - Nacrt.** Beograd, 2020
- [14] Đokić Nikola: **Definisanje prostornih i vremenskih karakteristika slivova hidroloških stanica u gornjem i srednjem toku Južne Morave.** Seminarski rad iz predmeta: GIS, daljinsko osmatranje i upravljanje vodom i zemljištem, DAS, *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022.
- [15] N. Đokić, B. Blagojević. **Priprema klimatoloških podloga za ocenu prosečnih protoka u uslovima buduće klime u slivu Južne Morave.** *Nauka+Praksa* br 25, *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022 (recenzija u toku)
- [16] RHMZS https://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php (05.06.2022.)

primljen: 22.01.2023.
korigovan: /
prihvaćen: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 727.3(497.11)

NOVA ZGRADA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU – PRIKAZ URBANISTIČKO- ARHITEKTONSKOG IDEJNOG REŠENJA

Vojislav Nikolić¹
Nemanja Randelović²
Slaviša Kondić³
Milan Tanić⁴
Katarina Medar⁵
Mirko Stanimirović⁶

Rezime

U ovom radu se daje prikaz drugonagrađenog urbanističko-arhitektonskog idejnog rešenja Teking architecture tima, sa pozivnog konkursa za proširenje Elektrotehničkog fakulteta (ETF) i kampus tehničkih fakulteta u Beogradu. U radu su prikazane i objašnjene glavne karakteristike urbanističkog, oblikovnog i ekološkog koncepta rešenja. Uklapanje u postojeću strukturu bloka i ponavljanje volumena traktova postojećeg objekta ETF, pojavna diskretnost kompozicije forme novog objekta i njegov prohodni ozelenjeni krov kao ekstenzija javnog prostora partera, osnovni su kvaliteti rešenja.

Ključne reči: *arhitektonski konkurs, arhitektonsko projektovanje, koncept, forma*

NEW BUILDING FOR THE SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING IN BELGRADE – PRESENTATION OF URBAN AND ARCHITECTURAL CONCEPTUAL DESIGN

Abstract

This paper presents the second prize-winning urban-architectural conceptual design of the Teking architecture team, from the invitational competition for the expansion of the School of Electrical Engineering (ETF) and the campus of technical faculties in Belgrade. The paper presents and explains the main characteristics of the urban, architectural and ecological concept of the design. Fitting into the existing structure of the faculty block and repeating the volumes of the tracts of the existing ETF building, the apparent discreteness of the composition of the form of the new building and its walkable green roof as an extension of the public space of the ground floor are the basic qualities of the design.

Key words: *Architectural Competition, Architectural Design, Concept, Form*

¹ Master inž.arh, saradnik u nastavi, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, vojislavn@gmail.com

² Student i.a.s. arhitekture, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, nemanjarandjelovic@gmail.com

³ Dr,docent, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, skondic555@gmail.com

⁴ Dr, Redovni profesor, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, tanicmilan@gmail.com

⁵ Master inž. arh, istraživač saradnik, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, katarinamedar@gmail.com

⁶ Dr, docent, Građevinsko arhitektonski fakultet u Nišu, wireframe22@gmail.com

1. UVOD

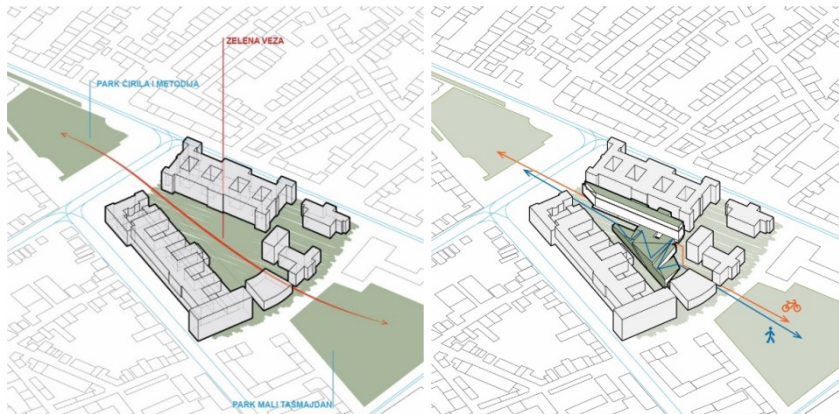
U okviru projekta „Proširenje Elektrotehničkog fakulteta i kampus tehničkih fakulteta u Beogradu“ sproveden je urbanističko arhitektonski konkurs za proširenje Elektrotehničkog fakulteta (ETF) i kampus tehničkih fakulteta u Beogradu. Za njegovu realizaciju Vlada Srbije je ugovorila kredit sa Bankom za razvoj Saveta Evrope u okviru kreditne linije programa „Unapređenje univerzitetske infrastrukture u Srbiji“. Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja je nosilac investicije, a Kancelarija za upravljanje javnim ulaganjima je određena ispred Vlade Srbije da upravlja projektom. Uz podršku banke, obezbeđena je tehnička pomoć za pripremu tehničke dokumentacije kroz donaciju Evropske Unije iz Investicionog fonda za Zapadni Balkan (Western Balkans Investment Framework-WBIF). Konsultantski konzorcijum Infrastructure Projects Facility 7, je sproveo prvu fazu konkursa, javne pretkvalifikacije, na koju se bilo prijavilo 15 timova, a kao narednu fazu je realizovao pozivni konkurs, u okviru koje je učestvovalo izabranih osam projektantskih timova. Konkurs je sproveden u periodu od oktobra 2021. do aprila 2022. godine. Autorski tim projektantskog studija „Teking architecture“ iz Niša je, sa svojim rešenjem, osvojio drugu nagradu. Ovaj rad će ukratko prezentovati urbanistički, arhitektonski i ekološki koncept rešenja. Programsko-funkcionalno rešenje u ovom prikazu neće biti detaljno obrazloženo zbog obimnosti programa.



Slika 1. Plan kulturnog dobra – prostorno kulturno-istorijske celine „Tašmajdan sa Univerzitetskim centrom u Beogradu“. Lokacija Tehničkih fakulteta – predmet konkursa (Izvor: Dokumentacija Zavoda za zaštitu spomenika kulture grada Beograda, Katalog konkursa)

Projektni zadatak konkursa je formulisan na osnovu analize potreba ETF, a da bi se novi program realizovao, grad Beograd je usvojio Izmenu plana generalne regulacije [1]. Konkursom je obuhvaćeno područje između ulica Bulevar Kralja Aleksandra, Karnegijeve, Kraljice Marije i Ruzveltove. U ovom području u centralnom delu Beograda (Slika1), površine 6ha nalaze se objekti visokoškolskih ustanova: Elektrotehnički, Građevinski i Arhitektonski fakultet (1), Mašinski fakultet (2), Tehnološko-metalurški fakultet (3, 3a), kao i Univerzitetska biblioteka „Svetozar

pristupa unutrašnjosti bloka. Osa jugoistok – severozapad se u rešenju nametnula kao primarna komunikacija kroz blok, zelena i funkcionalna transferzala koja povezuje park Ćirila i Metodija i Mali Tašmajdan (slika 3). U suprotnom pravcu jaki volumeni Tehničkog i Mašinskog fakulteta zatvaraju blok. Postojeći pristup sa Bulevara kralja Aleksandra se zadržao kao sekundarni pešački pristup i kao jedan od dva kolska prilaza.



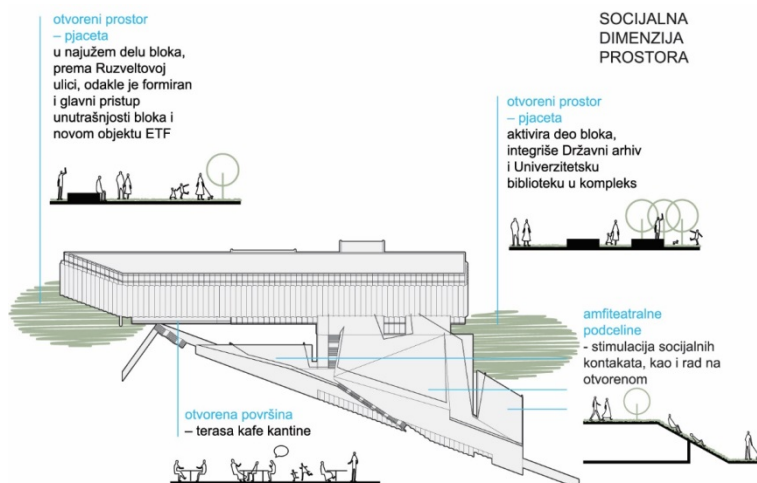
Slika 3. Osa jugoistok -severozapad kao primarna komunikacija (levo) – novi pešački i biciklistički koridor kroz blok (desno) (autorska ilustracija)



Slika 4. Vizuelizacija rešenja, pogled sa severozapada (autorska ilustracija)

Vizuelni identitet bloka formiran je u skladu sa njegovim polivalentnim karakterom, javnog prostora, komunikacije, parkovske površine i univerzitetskog centra. Funkcionalno i vizuelno krov postamenta objekta predstavlja kontinuitet parkovskih površina iz okruženja (Slika 4). Parter je obrađen kao kombinacija kamenih ploča i zelenila, što naglašava višestruku funkciju bloka, kao komunikacije i zelenih površina. Dispozicija i ritam kamenih ploča u parternom uređenju sugerišu savremeni, digitalni karakter, u skladu sa identitetom novoprojektovanog objekta. Pojedini kameni blokovi iz partera imaju veću visinu i na taj način formiraju

elemente urbanog mobilijara – klupe, i sugerišu i karakter ovog urbanog bloka kao mesta za okupljanje i socijalizaciju. Ovakvi elementi postoje i na „brdu“ - krovu postamenta, gde u pojedinim delovima formiraju i amfiteatralne podceline, čija je funkcija stimulacija socijalnih kontakata, kao i rad na otvorenom.



Slika 5. Socijalna dimenzija prostora novoprojektovanog rešenja (autorska ilustracija)

Socijalna dimenzija čitavog prostora [3] naglašena je formiranjem otvorenog prostora – pjacete, u najužem delu bloka, prema Ruzveltovoj ulici, odakle je formiran i glavni pristup unutrašnjosti bloka i novom objektu ETF (Slika 5). Na ovu pjacetu oslonjena je otvorena površina – terasa kafe kantine koja se nalazi na I spratu trakta.

2.1. Saobraćajno rešenje

Predmetna lokacija konkursa, Tehničkih fakulteta, je u centralnoj gradskoj zoni Grada Beograda. Sama lokacija se nalazi na ukrštanju tri značajne gradske saobraćajnice koje je povezuju sa svim delovima grada. U tom smislu, saobraćajno rešenje je bilo jedan od određujućih elementa u urbanističkom konceptu. Prilikom koncipiranja saobraćajnog rešenja osnovni princip je bio jasna diferencijacija saobraćaja na kolski i pešački. Zadržane su dve osnovne pristupne tačke za kolski saobraćaj, sa Bulevara kralja Aleksandra i Karnegijeve.

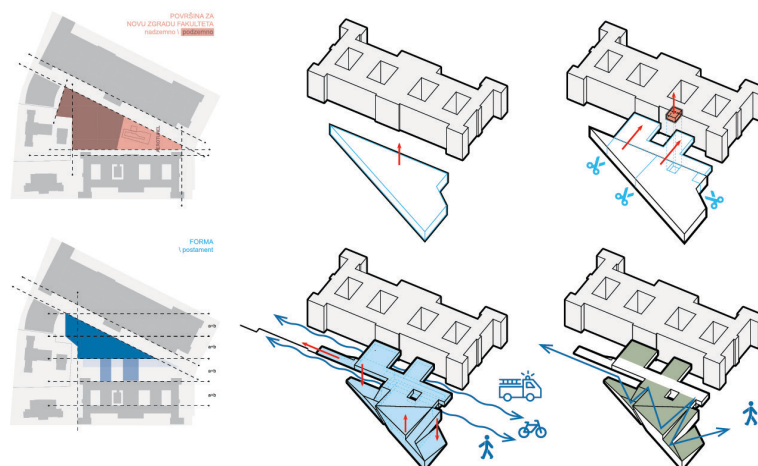
Sa ovih tačaka se rampama kompletan kolski saobraćaj spušta direktno u podzemnu garažu. Garaža je rešena na tri podzemna nivoa. Zadržan je samo servisni put uz objekat Mašinskog fakulteta, iz Karnegijeve ulice. Formiran je i požarni put između novog trakta ETF i postojeće zgrade Tehničkog fakulteta. Uklanjanjem kolskog saobraćaja iz partera prioritet je dat pešačkom i biciklističkom saobraćaju. Formirana je centralna osovina komunikacije u pravcu jugoistok – severozapad, koja povezuje glavni pešački i biciklistički pristup kompleksu iz Ruzveltove ulice sa Karnegijevom ulicom. Pravac kretanja vodi od Ruzveltove ulice do univerzitetske pjacete. Nakon toga primarna pešačka veza nastavlja se uz trakt, pored glavnih ulaza u novi objekat ETF, do pjacete koja je formirana uz zgradu Državnog arhiva i povezana sa Karnegijevom ulicom i Malim Tašmajdanom pešačko-biciklističkom komunikacijom koja je predviđena između objekata Arhiva i Tehnološko-metalurškog fakulteta. Alternativna pešačka veza između dve pjacete

je moguća i preko „brda“ – zelenog krova postamenta objekta (Slika 3). Ova veza otkriva korisnicima koji je izaberu nove ambijente za socijalizaciju i rad na otvorenom, kao i kvalitetne vizure ka zelenim parkovskim površinama u okruženju.

3. ARHITEKTONSKI KONCEPT – OPIS I OBRAZLOŽENJE REŠENJA

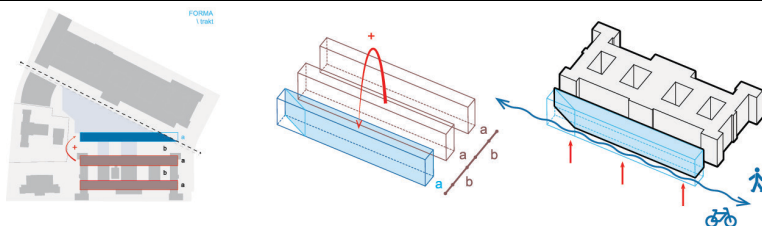
Lokacija na kojoj je predviđen novi objekat ETF je izuzetno kompleksna. Prostor predviđen za realizaciju veoma ambicioznog i obimnog programa je veoma ograničen i obostrano oivičen objektima koji predstavljaju kulturna dobra, čiji vizuelni identitet predviđenom intervencijom ne sme biti narušen. Arhitektonski koncept može se reći da predstavlja kompromis – optimalno rešenje koje je nastalo sintezom uticajnih faktora koji su definisali kontekst [4]. Kada se sagledaju postojeća fizička struktura na lokaciji i volumeni postojećih zaštićenih objekata fakulteta, biblioteke i arhiva, prepoznaje se nametnuti pristup formiranja što manje nove nadzemne fizičke strukture unutar bloka [5]. U tom smislu je na optimalan način iskorišćena denivelaciju terena, koja je dozvolila formiranje suterenskih nivoa, a rasterećenje volumena je postignuto i kroz adekvatni broj podzemnih etaža

Osnovni princip pri komponovanju masa novog objekta ETF je bio uklapanje u postojeću strukturu bloka i ponavljanje volumena traktova postojećeg objekta ETF (Slika 6). Kompoziciono posmatrano u formi je prisutna diferencijacija na dva volumena koji čine objekat, postament i trakt.



Slika 6. Konceptijski dijagram – forma postamenta (autorska ilustracija)

Postament, uklapanjem u denivelaciju terena ostaje pojavno diskretan i formiran je kao svojevrsno „brdo“, sa prohodnim ozelenjenim krovom koji je dostupan korisnicima i predstavlja ekstenziju javnog prostora u parteru. Gabaritom podzemnih i nadzemnih etaža izbegnut je objekat aerotunela Mašinskog fakulteta, koji se zadržava i formiraju se nove servisne prostorije uz njega, integrisane u novi objekat.



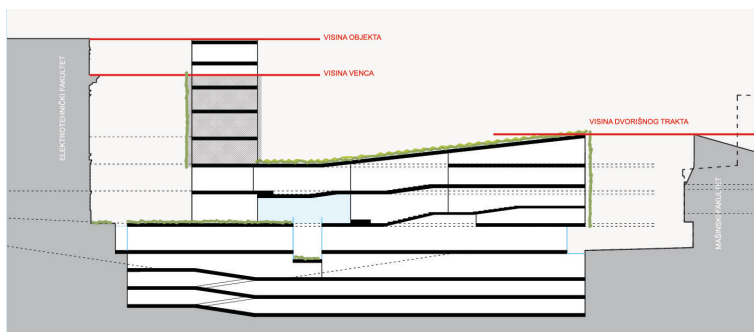
Slika 7. Konceptijski dijagram – forma trakta (autorska ilustracija)

Trakt predstavlja nastavak postojećeg objekta ETF (Slika 7). Postavljen je na stubove, sa prizemljem koje je u najvećem delu objekta oslobođeno kako bi preostalo što više prostora za otvorene površine. Ovaj trakt je po svojim dimenzijama identičan postojećim podužnim traktovima objekta Tehničkih fakulteta, a njegovo rastojanje od navedenog objekta jednako je međusobnom rastojanju dva postojeća trakta. Vezni elementi između postojeće zgrade i novoprojektovanog objekta ETF formirani su na pojedinim etažama, kao nastavak poprečnih traktova postojećeg objekta (Slika 8). Na taj način novoprojektovana struktura je volumetrijski u potpunosti usklađena sa postojećom zgradom ETF.



Slika 8. 3D prikaz trakta novog objekta ETF, tople veze sa starim objektom i glavnog pešačko-biciklističkog koridora kroz blok (autorska ilustracija)

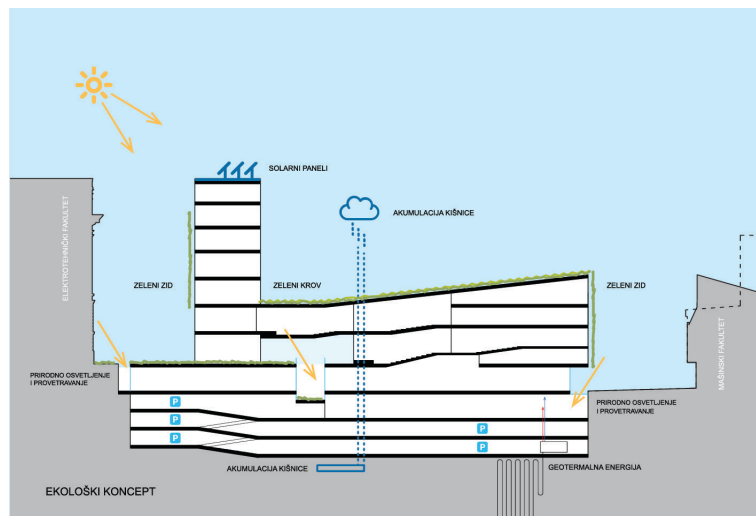
Visinska regulacija postojećih objekata je transponovana i na novi objekat ETF (Slika 9). Venac postamenta ka zgradi Mašinskog fakulteta visinski prati venac nižeg trakta Mašinskog fakulteta koji je formiran uz pristupnu saobraćajnicu iz Karnegijeve ulice. Trakt visinski prati zgradu ETF, dok njegova dvostruka fasada svojom visinom prati visinu venca – profilacije iznad drugog sprata na postojećoj zgradi.



Slika 9. Prikaz visinske regulacije – šematski poprečni presek (autorska ilustracija)

4. EKOLOŠKI KONCEPT

Ekološki koncept rešenja se ogleda u predviđenoj primeni različitih savremenih energetske efikasni tehničkih sistema [6], kao i primeni građevinskih materijala [7], imajući na umu CO₂ footprint, sve u skladu sa standardima za ovu vrstu objekata (Slika 10).



Slika 10. Dijagram ekološkog koncepta rešenja (autorska ilustracija)

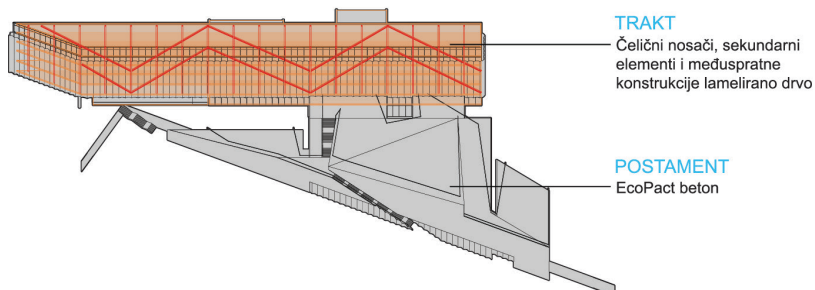
Svi predviđeni uređaji u objektu imaju visok stepen korisnog dejstva i energetske razred. Rasveta je planirana kao LED, sa kontrolerima, kao i senzorima dnevnog svetla i prisustva, tako da je kompletan sistem rasvete moguće optimizovati u cilju smanjenja potrošnje električne energije. Predviđeno je grejanje i hlađenje objekta preko toplotnih pumpi voda-voda ili zemlja-voda (geosondi). Na krovu trakta planirano je postavljanje fotonaponskih solarni panela [8]. Moguće je na ovaj način na krovu objekta formirati solarnu elektranu od oko 200kW. Ovaj kapacitet solarne elektrane je nedovoljan za off grid objekat, s obzirom na činjenicu da procenjeni ukupan potrebni kapacitet električne energije za projektovani objekat iznosi nešto preko 2MW. Međutim, i ovaj kapacitet je značajan i može bitno da doprinese smanjenju potrošnje električne energije iz mreže.

Kao što je već rečeno, krov postamenta je planiran kao zeleni krov. Oni imaju višestruku ulogu, a njihova prevashodna uloga je unapređenje estetske vrednosti, kao i ambijentalnih i mikroklimatskih karakteristika predmetnog prostora [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Pored toga, zeleni krovovi dodatno termički izoluju objekat i predstavljaju svojevrstni buffer za atmosferske vode [12]. Oni upijaju i zadržavaju atmosfersku vodu i na taj način smanjuju opterećenje gradske kanalizacione mreže. Atmosferska voda se sa zelenih krovova vodi u rezervoare, i tek nakon toga se višak vode ispušta u kanizacioni sistem. Voda sakupljena u rezervoarima se filtrira i koristi kao tehnička voda, kao i za zalivanje i održavanje zelenila [16].

Uticaj objekta na životnu sredinu zavisi od više aspekata, kao što su proces proizvodnje i transporta građevinskih materijala, izgradnje, održavanja, potrošnje energije u eksploataciji i rušenja i odlaganja građevinskog otpada. Pri tome su proizvodnja materijala i potrošnja energije u eksploataciji dva dominantna uticajna faktora. Izbor građevinskih materijala, u tom smislu, svakako ima veliki uticaj na

CO₂ footprint [17]. Materijali u čijoj proizvodnji se generiše manja količina CO₂ su svakako prihvatljiviji kao opcija za izgradnju savremenih objekata.

Standardne opcije za izbor materijala noseće konstrukcije građevinskih objekata su beton, čelik i drvo [18]. Predloženo rešenje novog objekta ETF se sastoji od dve celine, baze (postamenta) sa podzemnim nivoima i nadzemnog trakta. Po samoj svojoj prirodi, ove dve celine su raznorodne i omogućavaju primenu različitih građevinskih materijala (Slika 11). Postament objekta, sa sedam etaža, od kojih su tri potpuno ukopane, jedna poluukopana, i tri nadzemne, projektovana je od betona, u skladu sa svojom pozicijom i morfologijom. Klasičan beton nije najpovoljniji materijal kada je u pitanju CO₂ footprint. U proizvodnji cementa, koji predstavlja veoma bitnu komponentu u proizvodnji betona, oslobađa se velika količina CO₂. Prilikom izrade projekta ovog objekta bile bi predviđene savremene alternative, kao što je EcoPact beton, u čijoj proizvodnji se oslobađa 30-50% manje CO₂ nego kod klasičnog betona. Trakt objekta je projektovan od lakših materijala, u skladu sa svojim karakterom i pozicijom. Osnovna konstrukcija projektovana je od čeličnih nosača, dok su sekundarni elementi i međuspratne konstrukcije lamelirano drvo. Čelik, sa aspekta produkcije CO₂ takođe nije najpovoljniji materijal, jer se u njegovoj proizvodnji iz rude oslobađa velika količina CO₂. Sa druge strane, kada je u pitanju CO₂ footprint, drvo je najpovoljniji materijal. Savremene drvene konstrukcije su veoma otporne i trajne, zaštićene savremenim sredstvima. Međutim, i u slučaju drveta treba voditi računa o procesu njegove održive proizvodnje i konstantnog obnavljanja šumskog fonda koji se u njegovoj proizvodnji eksploatiše.



Slika 11. Dijagram konstruktivnog sistema objekta (autorska ilustracija)

4.1. Konstruktivno rešenje

Konstruktivni sistem objekta je skeletni, ramovski (Slika 11). Postament objekta projektovan je kao armirano betonska konstrukcija, po potrebi prednapregnuta, sa nosećim stubovima i gredama i ošupljenim međuspratnim konstrukcijama velikih raspona. Osnovni konstruktivni sistem trakta je ramovski sistem od metalnih nosača. Metalna konstrukcija formira svojevrsnu prostornu rešetkastu strukturu. Sekundarni konstruktivni elementi i međuspratne konstrukcije projektovani su od lameliranih drvenih nosača. Ovakvim konstruktivnim rešenjem ovog dela objekta smanjuje se ukupna masa objekta, ubrzava izgradnja, i smanjuje CO₂ footprint.

5. ZAKLJUČAK

Kvalitet predloženog rešenja novog objekta ETF vrednovao je petočlani žiri konkursa, koji mu je dodelio drugu jednakovrednu nagradu. Kao bitni principi u koncipiranju rešenja mogu se izdvojiti:

- **otvaranje bloka prema okruženju.** Planiranjem ga kao javnog prostora u funkciji univerzitetskog centra.
- **formiranje primarne jasne pešačko-biciklističke zelene transferzale kroz blok.** Svojim pravcem ona povezuje parkove park Ćirila i Metodija i Mali Tašmajdan čime se pravi logična jedinstvena celina celog područja.
- **formiranje pjaceta i amfiteatralnih podcelina.** Njihova funkcija je stimulacija socijalnih kontakata, kao i rad na otvorenom. Ovim pristupom se ističe socijalna dimenzija čitavog prostora.
- **diferencijacija pešačkog i kolskog saobraćaja unutar bloka.** Uklanjanjem kolskog saobraćaja iz partera u podzemne nivoe prioritet je dat pešačkom i biciklističkom saobraćaju.
- **krov objekta kao ekstenzija partera.** Alternativna pešačka veza između dve pjacete je moguća i preko zelenog krova objekta. Ova veza korisnicima, pored ambijenta za socijalizaciju i rada na otvorenom, daje mogućnost za potrebnu fizičku aktivnost i otvara vizure ka zelenim parkovskim površinama u okruženju.
- **uklapanje forme novog objekta u postojeću strukturu bloka i ponavljanje volumena traktova postojećih objekta u bloku.** Osnovna ideja rešenja je formiranje što manje i kompoziciono diskretne nove nadzemne fizičke strukture unutar bloka. Visinska regulacija postojećih objekata je vešto transponovana na novi objekat, što ga je učinila nenametljivim i suptilno integrisanim.

Pored kontekstualnih, urbanističkih i arhitektonskih principa koji su primenjeni pri projektovanju novog objekta ETF, treba izdvojiti i osnovne ekološke principe:

- **korišćenje toplotnih pumpi voda-voda ili zemlja-voda sa visokim stepenom iskorišćenja za grejanje i hlađenje objekta.** Korišćenjem ovih naprednih sistema za grejanje i hlađenje značajno se umanjuje potrošnja energije za ovu namenu;
- **korišćenje LED rasvete sa senzorima dnevnog svetla i pokreta i sistemima kontrole.** LED sistemi rasvete drastično umanjuju potrošnju energije za ovu namenu u odnosu na ranije primenjivane sisteme. Kontrola osvetljenja, u skladu sa nivoom dnevnog osvetljenja ili prisustva u prostoriji, preko centralnog sistema nadzora i upravljanja, a uz pomoć odgovarajućih senzora, omogućava značajne dodatne uštede energije na ovakvom objektu;
- **korišćenje solarne energije.** Na krovu trakta objekta projektovana je solarna elektrana snage oko 200kW, koja umanjuje količinu električne energije iz mreže koja je potrebna za funkcionisanje objekta;
- **sakupljanje atmosferskih voda i njihovo korišćenje kao tehničke vode.** Na ovaj način umanjuje se potrebna količina vode iz gradske vodovodne mreže, koja se neracionalno troši, a rasterećuje se i atmosferska kanalizaciona mreža na lokaciji;

- **izbor adekvatnih građevinskih materijala u cilju redukcije CO₂ footprint-a.** Izborom adekvatnih građevinskih materijala značajno se umanjuje produkcija CO₂ prilikom izgradnje objekata. EcoPact beton, čelik i lamelirano drvo predstavljaju materijale sa odgovarajućim karakteristikama koji su adekvatna alternativa za materijale koji se standardno koriste na našem tržištu. Recikliranjem materijala dodatno se unapređuje proces izgradnje u ekološkom smislu;
- **smanjenje gubitaka toplotne energije adekvatnom primenom termoizolacionih materijala.** U skladu sa savremenom regulativom vezanom za energetska efikasnost objekata, korišćenjem adekvatnih debljina termoizolacionih materijala drastično se umanjuju toplotni gubici u odnosu na raniji period;
- **smanjenje gubitaka toplotne energije pozicioniranjem određenih funkcija na nivoe ukopane u teren.** Ukopavanjem postamenta objekta u teren i izgradnjom podzemnih nivoa objekta dodatno se umanjuju toplotni gubici i unapređuje energetska efikasnost. Volumen trakta, sa svojom izduženom formom i velikim omotačem koji je izložen spoljašnjoj sredini, nije u skladu sa ovim principom. Međutim, bilo je neophodno pronaći pravu meru kompromisa između principa energetske efikasnosti i vizuelnog efekta, odnosa prema postojećim objektima i poštovanja konteksta.
- **smanjenje toplotnih dobitaka u letnjem periodu adekvatnim pozicioniranjem nadzemnog dela objekta i tretmanom fasade.** Svi nadzemni nivoi objekta su pozicionirani tako da je minimizovana insolacija u letnjem periodu. Toplotni dobitci kod savremenih objekata sa velikim staklenim površinama predstavljaju veći problem od gubitaka, i potrošnja energije za hlađenje je veća od potrošnje energije za grejanje. Jugoistočna strana trakta je jedini deo objekta koji je u letnjem periodu izložen intenzivnoj insolaciji. Međutim, i ovaj deo objekta je zaštićen dvostrukom, zelenom fasadom.
- **primena zelenih krovova i fasada.** Zeleni krovovi i fasade imaju značajnu ulogu u unapređenju ambijenta, formiranju povoljnijih mikroklimatskih uslova, apsorpciji atmosferskih voda i CO₂, kao i u smanjenju toplotnih gubitaka.

LITERATURA

- [1] Službeni Glasnik grada Beograda br. 27/22
- [2] Odluka o utvrđivanju, Službeni glasnik RS br. 104/21
- [3] Tanić Milan, Stanković Danica, Nikolić Vojislav, Kostić Aleksandra: **The social dimensions of space in school environment.** *FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 307-314, 2018. <https://doi.org/10.2298/FUACE180323010T>
- [4] Jovanović Goran, Stanimirović Mirko: **Pet projektantskih načela.** *Nauka + Praksa*, Vol. 21, 71-76, 2018.
- [5] Kamal Mohammad Arif, Nasir Osama: **Minimalism in architecture: a basis for resource conservation and sustainable development.** *FACTA*

UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering, Vol. 20, No 3, 277-300, 2022. <https://doi.org/10.2298/FUACE221105021K>

- [6] Kostić Aleksandra, Stanković Danica: **Modeli energetske efikasne predškolske objekata**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 29, 111-120, 2014.
- [7] Grdić Zoran, Topličić Čurčić Gordana: **Ekološki materijali – komponenta održive arhitekture**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 25, 87-94, 2010.
- [8] Nedeljković Miloš: **Fotonaponske ćelije kao deo krovne konstrukcije**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 28, 173-184, 2013.
- [9] Atanasov Aleksandar: **Zeleni krovovi, prednost recikliranih gumenih mrvica kao sloj za drenažu**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 30, 11-26, 2015.
- [10] Saadatian Omidreza, et al: **A review of energy aspects of green roofs**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, 155-168, 2013.
- [11] Jaffal Issa, Salah-Eddine Ouldboukhitine, Rafik Belarbi: **A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance**. *Renewable Energy*, Vol. 43, 157-164, 2012.
- [12] Tseleki Kyriakoulis: **Literature Review of the Potential Energy Savings and Retention Water from Green Roofs in Comparison with Conventional Ones**. *Scientific Journal of Riga Technical University, Environmental and Climate Technologies* Vol. 9, 40-45, 2012.
- [13] Pejić Petar, Nikolić Vojislav: **Prikaz projekta stambenog naselja uz reku Nišavu**. *Nauka + Praksa*, Vol. 14, 63-68, 2011.
- [14] Li Jian-feng, et al: **Effect of green roof on ambient CO₂ concentration**. *Building and Environment*, Vol. 45, No. 12, 2644-2651, 2010.
- [15] Grubić Nevena: **Zelena arhitektura kao vid ekološki prijateljske izgradnje**. *Nauka + Praksa*, Vol. 13, 25-28, 2010.
- [16] Vasilevska Ljiljana, Blagojević Borislava: **Integrirano upravljanje atmosferskim vodama u okviru stambenih područja: Studija slučaja 'Quartiers Verts', Beč**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 28, 1-14, 2013.
- [17] Cabeza Luisa F., et al: **Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, 536-542, 2013.
- [18] Tamburić Jasmina, Lukić Predrag: **Trajnost i oštećenja nosećih konstrukcija**. Zbornik radova Građevinsko arhitektonskog fakulteta Niš, Vol. 28, 15-34, 2013.

primljen: 16.01.2023.

UDK : 628.31/.32(497.11)

korigovan: 28.02.2023.

izvorni naučni rad

prihvaćen: 01.03.2023.

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA U BAČKOJ TOPOLI

Katarina Nakov¹
Aleksandra Ilić²
Dragan Milićević³
Slaviša Trajković⁴
Milan Gocić⁵

Rezime

Ubrzana urbanizacija dovela je povećanja količine komunalnih otpadnih voda koje i te kako mogu da ugrožavaju životnu sredinu pa je poboljšanje tretmana neophodan korak za poboljšanje kvaliteta vode i cilj održivog razvoja. U ovom radu je predstavljena višekriterijumska optimizacija postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u Bačkoj Topoli. Razmatrana su dva rešenja formirana primenom: tehnologije sekvencijalnog šaržnog reaktora (SBR) i rotacionih biodiskova. Varijantna rešenja su ocenjena na osnovu četiri kriterijuma i rangirana pomoću metode VIKOR. Kao kompromisno rešenje se na kraju rada predlaže SBR sistem.

Ključne reči: *komunalne otpadne vode, postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, SBR, RBC, višekriterijumska optimizacija, VIKOR*

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF THE MUNICIPAL WASTE WATER TREATMENT SYSTEM IN BAČKA TOPOLA

Abstract

Rapid urbanization has led to an increase in the amount of municipal waste water that can endanger the environment, which led to the fact that improving treatment is a necessary step for improving water quality and the goal of sustainable development. This paper presents the multi-objective optimization of the Municipal Wastewater Treatment Plant in Bačka Topola. Two alternatives were considered, formed by the application of: sequential batch reactor (SBR) and rotating biodiscs technologies. Alternatives were evaluated based on four objectives and ranked using the VIKOR method. The SBR system is proposed as a compromise alternative at the end of the paper.

Key words: *Municipal Wastewater, Municipal Wastewater Treatment Plants, SBR, RBC, Multi-Objective Optimization, VIKOR*

¹ Master inženjer menadžmenta, Vodoprivreda d. o. o. Požarevac

² Doktor, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

³ Doktor, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

⁴ Doktor, redovni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

⁵ Doktor, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

1. UVOD

Pre ispuštanja otpadnih voda u prirodne prijemnike, verovalo se da će se razređivanjem otpadnih voda u velikoj masi vode recipijenta, problem rešiti sam od sebe, pa su otpadne vode iz naselja i industrijskih pogona, decenijama bez ikakvog ili uz veoma minimalno prečišćavanje, ispuštane u vodotokove. Uočeno je da prirodni ekosistemi bivaju ugroženi nestankom pojedinih vrsta, kako biljnih tako i životinjskih [1].

Trenutno stanje u našoj zemlji je takvo da su problemi sa kojima se Srbija suočava u domenu upravljanja i tretmana otpadnim vodama veoma mala izgrađenost kanalizacione infrastrukture u gradovima i industriji, pogotovo nedovoljna izgrađenost uređaja za tretman otpadnih voda, a takođe postoji i potreba za velikim ulaganjima u sektor otpadnih voda [2].

Po preporukama za projektovanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda [3] treba izabrati tehnologiju koja je ekonomski pristupačna, ekološki održiva i društveno prihvatljiva pa je i cilj ovog rada da se uz pomoć višekriterijumske optimizacije dođe do najpovoljnijeg rešenja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Pored već postojećeg postrojenja u mestu Bačka Topola, koji primenjuje SBR tehnologiju, ispitaće se koje bi još postrojenje moglo doći u obzir i na osnovu kriterijuma za vrednovanje se ispitati da li je to novo rešenje eventualno pogodnije.

Metode višekriterijumske analize pružaju obilje mogućnosti vrednovanja alternativnih rešenja prema skupovima kriterijuma, sa ili bez potkriterijumima [4].

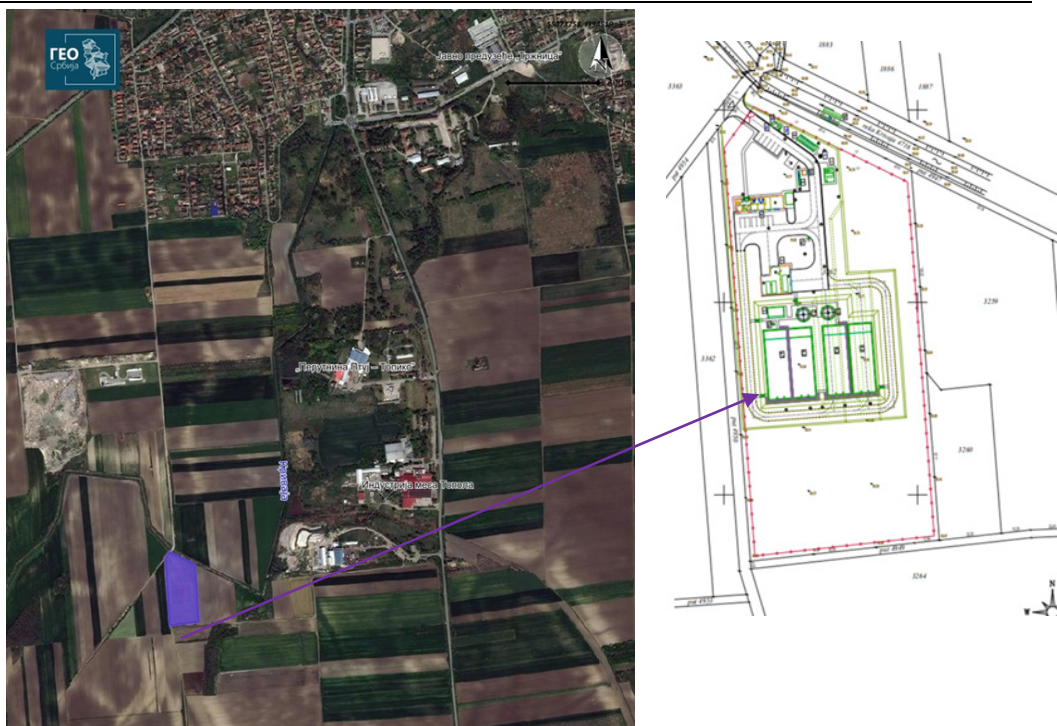
2. SISTEM ZA PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

U okviru rada se razrađuje analiza relevantnih podataka za izbor optimalnog rešenja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) u mestu Bačka Topola, koje već ima izgrađeno PPOV sa SBR tehnologijom.

Potreban stepen prečišćavanja u ovom slučaju sledi iz vodnih uslova, koji su u skladu sa propisima i karakterom recipijenta – reke Krivaje, Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodi i rokovima za njihovo dostizanje, kao i Direktivama EU, čije se odredbe primenjuju u Republici Srbiji.

Reka Krivaja je van kategorije po kvalitetu vode, iako je svrstana u IIb kategoriju, a zagađenjem iz obližnje mesne industrije "Jug", vodotok je pretvoren u otvoreni kanal otpadnih voda, a takođe prikupljanjem i prečišćavanjem otpadnih voda stanovništva i ostale industrije na teritoriji Bačke Topole se ništa neće postići na zaštiti ovog vodotoka, sve dok se ne reši problem sa zagađivačima, tako da to čini najveći vodoprivredni problem [5].

Izgrađeno PPOV je skup objekata i procesnih jedinica koje služe za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda pre ispuštanja u recipijent, odnosno u reku Krivaju. Kapacitet PPOV-a za potrebe naselja Bačka Topola je 20000 ES (ekvivalent stanovnika). Atmosferske vode se ne smeju mešati sa komunalnim otpadnim vodama i ne smeju dolaziti na lokaciju PPOV putem separatne kanalizacije otpadnih voda. Lokacija i šema PPOV su prikazani na Slici 1.



Slika 1. Lokacija i šema PPOV u Bačkoj Topoli [5]

2.1. Merodavni podaci za dimenzionisanje PPOV

Područje naselja Bačka Topola nema funkcionalnu kanalizacionu mrežu na kojoj bi se mogla izvršiti merenja kvantiteta i kvaliteta proizvedene otpadne vode, takođe nema ni detaljnih podataka o količini i kvalitetu otpadnih voda industrije i javnih ustanova, tako da nije moguće sprovesti detaljnu analizu očekivane količine i kvaliteta otpadne vode, pa će se za potrebe dimenzionisanja PPOV-a koristiti preporučene vrednosti izdate od strane Evropske komisije, a takođe se uvodi i pojam ekvivalent stanovnika (ES).

U Tabeli 1. je prikazano hidrauličko opterećenje, koje se računa sa koeficijentom dnevne neravnomernosti od 1,70 i časovne neravnomernosti od 1,60.

Tabela 1. Hidrauličko opterećenje

faza	ES	Q_{dn} (m ³ /dan)	$Q_{max,dn}$ (m ³ /dan)	$Q_{max,h}$ (m ³ /h)
I	5.000	828,00	1.407,60	93,84
II	10.000	1.656,00	2.815,20	187,68
III	15.000	2.484,00	4.222,80	281,52
IV	20.000	3.312,00	5.630,00	375,36

Dati su parametri, merodavni za dimenzionisanje PPOV, prema postupku definisanom u pravilniku ATV DWA-M 210 [6] izdatom od strane nemačkog udruženja za vodoprivredu, otpadne vode i otpad. Za SBR sistem parametri su:

- Broj ekvivalent stanovnika: 20.000 ES;
- Merodavna dnevna količina vode: 5.630,40 m³ /dan;
- Koncentracija BPK5: 231,13 mg/l;
- Koncentracija ukupnih suspendovanih materija: 248,65 mg/l;
- Koncentracija ukupnog azota po Kjedhalu: 39,07 mg/l;
- Koncentracija ukupnog fosfora: 6,39 mg/l;
- Dnevna količina BPK5: 1.200,00 kg/dan;
- Dnevna količina ukupnih suspendovanih materija: 1.400,00 kg/dan;
- Dnevna količina azota po Kjedhalu: 220,00 kg/dan;
- Dnevna količina ukupnog fosfora: 36,00 kg/dan [10].

Na osnovu studije „Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini“ izrađene 2009. godine [7] prikazane su takozvane ”najbolje dostupne tehnike“ prečišćavanja otpadnih voda koje obuhvataju procese prečišćavanja otpadnih voda naselja, gde se pod procesom podrazumeva više postupaka prečišćavanja, pri čijem se formiranju uzimaju u obzir sledeći činioci:

- Kvalitet sirove otpadne vode;
- Zahtevi u pogledu kvaliteta prečišćene otpadne vode koji zavise od karakteristika recipijenta u koji se ispuštaju prečišćene otpadne vode;
- Podobnost primene datih postupaka prečišćavanja otpadne vode u praksi, pod tehničkim i ekonomskim uslovima.

U navedenoj Strategiji je prikazana problematika prečišćavanja otpadnih voda naselja, gde se naselja grupišu prema veličini, samim tim to je i grupisanje prema količini vode koju naselja troše, uzimajući u obzir da približno 90-95% vode dospeva u otpadne vode.

Na osnovu kapaciteta postrojenja za grupu naselja iz ove kategorije, izbor tehnike prečišćavanja se svodi na SBR postupak i postupke sa imobilisanom mikroflorom (tzv. biodiskovi). Dakle, na PPOV Bačka Topola se pored već postojećeg SBR sistema (odvojena aerobna stabilizacija mulja) u razmatranje uzima i tehnologija sa rotacionim biodiskovima (anaerobna stabilizacija mulja) kao alternativno rešenje.

2.2. SBR tehnologija prečišćavanja

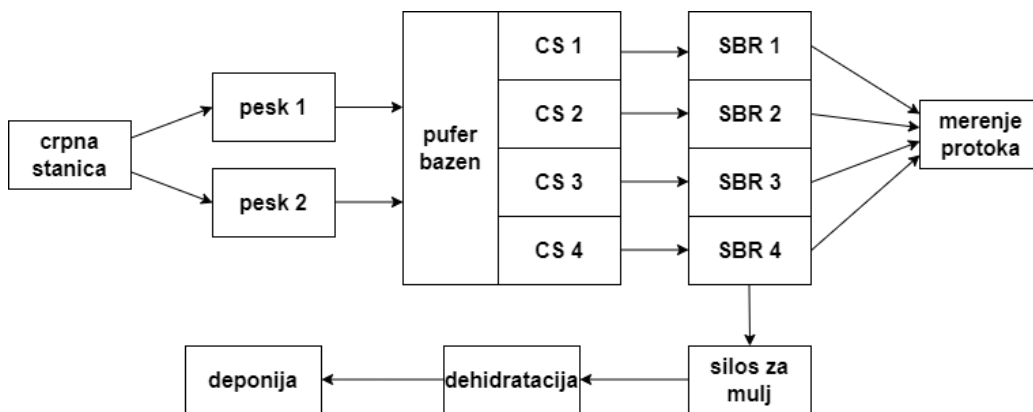
SBR (sekvencijalno šaržni) reaktori predstavljaju biološke reaktore, koji prečišćavaju otpadnu vodu u ciklusima. Ciklusi jednog reaktora su: punjenje (2 časa), aeracija (2 časa), dodatno vreme za denitrifikaciju (30 min), taloženje (30 min), dekantacija (1 čas).

Ukupno predviđeno vreme trajanja jednog ciklusa jednog reaktora iznosi 8 časova a jedan reaktor ima 3 ciklusa u toku jednog dana [8].

Vode sa primenom SBR sistema se prečišćavaju na principu aerobne biološke obrade sa primenom aktivnog mulja, imaju veliku primenu i najčešće se koriste za manje kapacitete kao što su naselja, individualni objekti i imaju funkciju sekundarnog tretmana otpadne vode kome prethodi mehanički predtretman [8].

U glavnu crpnu stanicu (CS) dospevaju i otpadne vode iz septičkih jama, posle mehaničkog tretmana na prijemnoj stanici, koja takođe ima svoj mehanički tretman i prihvatni bazen u kojem se podešava pH vrednost septičnog mulja, odakle se dalje prepumpava u šaht na kolektoru neposredno pre CS, gde se meša sa svežom otpadnom vodom iz kanizacionog sistema naselja Bačka Topola i tako

se izbegava mogućnost pojave povišene koncentracije organskog opterećenja. Otpadne vode iz crpnog bazena (pufera) oslobođene mehaničkih nečistoća i nakon ujednačavanja kvaliteta naizmeničnim radom pumpi prebacuju se u biološke reaktore. Na Slici 2. prikazan je proces prečišćavanja otpadnih voda SBR tehnologijom.



Slika 2. Osnovna šema prečišćavanja otpadnih voda SBR tehnologijom [3]

Tehnologija prečišćavanja otpadnih voda primenom SBR sistema se pokazala kao dobro rešenje za naselja u kojima nije izgrađen kanalizacioni sistem [5].

2.3. Rotacioni biodiskovi

Rotirajući biološki kontaktori (RBC) - biodiskovi se sastoje od plastičnih diskova montiranih na horizontalnoj rotirajućoj osovini. Biološki mulj se razvija na ispuni kontaktora i prodire kroz istaložene čestice otpadnih voda, izlazi iz tog mulja, a zatim mikroorganizmi u kontaktu sa kiseonikom razlažu organsku materiju iz otpadne vode.

Šema protoka za proces tretmana biodiskovima liči na većinu drugih bioloških sistema, jer primarni i predtretman su najbitniji za uklanjanje čestica koje bi mogle napraviti problem u performansama samog procesa. Sekundarni taložnik mora obezbediti uklanjanje čestica iz otpadnih voda, a materije koje se istalože u njemu mogu biti recirkulisane u primarni taložnik za taloženje ili može biti direktno ispumpano u sistem za čvrste materije.

Biodiskovi sadrže medij sastavljen od vertikalnih diskova montiranih na horizontalnoj osovini koja se veoma sporo rotira, okrećući medij iz tanka. Osovine se rotiraju komprimovanim vazduhom ili mehanički, a plastični medij je uvek oko 40% svoje površine uronjen u otpadnu vodu. Bakterije i ostali mikroorganizmi koji su prisutni u otpadnim vodama se sakupljaju na površini rotirajućeg medija, biofilm se spira u trenutku kada postane pretežak za podržavanje medija, a preostali biofilm se spira sa medija, kao i ostale suspendovane materije koje idu dalje u sekundarni izbistrivač - taložnik. Biološki mulj u prvoj fazi procesa, obično ima debljinu od 0,15 do 0,33 cm. Kod slabijih opterećenja, može doći do izostanka nastanka vidljive biomase. Negativan znak pojave bele ili sive boje biomase pokazuje dominantno prisustvo filamentoznih bakterija kao što su Beggiatoa, Thiothrix ili Lepothrix.

Kontrola procesa se svodi na svakodnevnu proveru osovina, a ono na šta se najviše obraća pažnja je stanje biomase u svakoj fazi i nivo rastvorenog kiseonika. Zapažanja vezana za biomasu u prvoj fazi su obično najbitnija, a u prvoj fazi treba da je uniformna, braon boje u tankom i jednakom sloju. Ona koja je teška i ispucala pokazuje da postoji opterećenje organskim komponentama, koje može biti prouzrokovano industrijskim otpadom.

Organsko opterećenje je jednako količniku ulaznog BPK5 primarnog efluenta izraženog u kilogramima po danu i površini diskova na osovini i broju osovina izraženih u kvadratnim metrima.

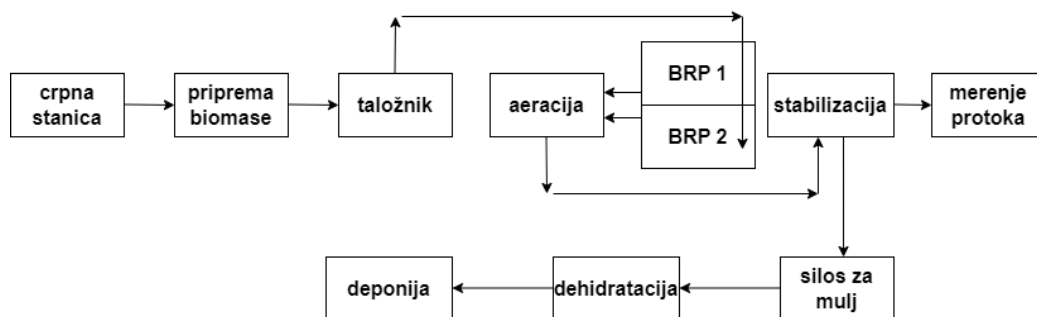
Prednosti koje poseduju RBC sistemi su niski energetska zahtevi, kratko vreme zadržavanja, odlična kontrola procesa, mali operativni troškovi i mogućnost rada sa širim spektrima protoka, a nedostaci su nedovoljna fleksibilnost pri variranju opterećenja i radnih uslova, kao i česta održavanja na ležajevima vratila i mehaničkim disk jedinicama [9].

Na osnovu broja ekvivalenta stanovnika koji iznosi 20.000 ES, potrebno je ugraditi dva biorotora tipa BRP-10000. U Tabeli 2 prikazane su karakteristike biorotora tipa BRP-10000.

Tabela 2. Karakteristike biorotora

uređaj	ES po danu	dnevni dotok (m ³ /dan)	organski teret (kg BPK ₅ /dan)	dim. uređaja (m)	priključne cevi	instalirana snaga (kW)
BRP-10000	10.000	1.000	600	50,0 x 50,0	800	80

Na Slici 3. prikazana je šema prečišćavanja otpadnih voda RBC tehnologijom, gde priprema biomase koja zatim ulazi u taložnik sa peskom spada u mehanički predtretman obrade vode, zatim aeracija, stabilizacija spadaju u biološki tretman vode, a višak mulja može da se obradi i deponuje.



Slika 3. Osnovna šema prečišćavanja otpadnih voda RBC tehnologijom

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Komunalne otpadne vode

Otpadne vode su vode koje su prošle kroz upotrebnii ciklus i postale štetne po životnu sredinu. Po mestu nastanka dele se na sanitarne i industrijske otpadne vode, kada se pomešaju sanitarne i industrijske nastaju komunalne otpadne vode koje se karakterišu svojim kvalitetom i količinama, što zavisi od mnogo faktora, poput podneblja, ljudske delatnosti, stepena razvoja, kulture, navika ljudi itd. Nezavisno od toga kako i gde nastaju, otpadne vode se moraju prečistiti, ukoliko njihov kvalitet izlazi izvan zakonom predviđenih okvira.

Da bi se pristupilo tretmanu otpadnih voda, neophodno je poznavati mesto gde otpadne vode nastaju ili se prikupljaju, njihove količine i fizičko-hemijske i biološke karakteristike. Kvalitetno ispitivanje komunalnih otpadnih voda, sa što većim brojem parametara i njihovih promena tokom vremena je preduslov za pravilan izbor tehnologije koja će se primeniti za njeno prečišćavanje [6].

Karakteristike otpadnih voda se mogu podeliti u četiri osnovne grupe i to su:

- Fizičke karakteristike (ukupna suva supstanca, ukupne suspendovane supstance, ukupne rastvorene supstance, inertne i isparljive supstance);
- Hemijske karakteristike (ukupan azot, ukupan fosfor, organske supstance);
- Biološke karakteristike (bakterijski indikatori, ukupan broj koliformnih bakterija, broj fekalnih koliformnih bakterija i broj fekalnih streptokoka);
- Specifični indikatori zagađenosti (biohemijska i hemijska potrošnja kiseonika, ukupni sadržaj ugljenika i broj ekvivalentnih stanovnika ES) [6].

Za pružanje osnovne informacije o sadržaju organskih materija u otpadnoj vodi, u redu veličina velikih koncentracija, najčešće se koriste:

- Hemijski potrebna količina kiseonika (HPK) i ukupno potrebna količina kiseonika (UPK) koji su pokazatelji koncentracije organskih komponenata. HPK je hemijski potrebna količina kiseonika za oksidaciju organskih komponenata i neorganskih soli, i predstavlja pokazatelj zagađenosti otpadnih voda. HPK se najčešće izražava potrošnjom O_2 u mg/l [10].
- Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK) - Stepem zagađenosti vode organskim jedinjenjima definisan je količinom kiseonika koji je potreban za oksidaciju koju vrše aerobni mikroorganizmi [11].
- Ukupni organski ugljenik (TOC) – koji se određuje tako što se organsko jedinjenje oksidiše do krajnjih proizvoda CO_2 i H_2O [6].

3.2. Proces prečišćavanja otpadnih voda

Tehnološki proces prečišćavanja otpadnih voda se sastoji iz mnogobrojnih faza obrade, što zavisi od karakteristika sirove otpadne vode i od zahtevanog kvaliteta prečišćene otpadne vode. Zagađujuće materije iz otpadnih voda se uklanjaju fizičkim, hemijskim i biološkim metodama.

U razmatranjima tehnološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda, kako je prikazano u [12], glavne faze procesa prečišćavanja otpadnih voda se mogu predstaviti kao:

- Prethodna obrada - otklanjanje grubih čvrstih predmeta i ostalih većih predmeta koji se često mogu naći u sirovoj otpadnoj vodi;
- Primarno prečišćavanje - koristi se uređaj koji se zove taložnica ili primarna taložnica, unutar koje se odvijaju dva glavna procesa tretmana otpadnih voda – prvo sedimentacija ili taloženje i drugo stabilizacija i digestija nataloženog mulja kroz biološki tretman;
- Sekundarno prečišćavanje (biološko prečišćavanje) – cilj je otklanjanje zaostalih organskih materija i suspendovanih čvrstih materijala pri čemu se često koristi anaerobni reaktor sa pregradama, tako što se konstruiše više rezervoara u seriji koji služe za digestiju razgradivih supstanci;
- Tercijarno prečišćavanje - finalna faza tretmana otpadnih voda kojom se dobija viši kvalitet vode pre nego što se voda ispusti u životnu sredinu (more, reka, jezero, zemljište itd.);
- Dezinfekcija prečišćene otpadne vode;
- Obrada muljeva iz procesa prečišćavanja.

3.3. Višekriterijumska optimizacija sistema

Traženje najpogodnijeg rešenja u višekriterijumskom smislu je upravo zadatak višekriterijumske optimizacije. U zadacima planiranja velikih sistema često se traži uređen skup dobrih i prihvatljivih rešenja koji predstavlja osnovu za izbor najboljeg rešenja, a prikazuju se donosiocu odluke [13].

Metoda VIKOR je razvijena za određivanje višekriterijumskog optimalnog rešenja sa ili bez unapred izražene preferencije donosioca odluke. U višekriterijumskoj optimizaciji želje su prikazane kriterijumima, a mogućnosti ograničenjima. U zadatku višekriterijumskog odlučivanja kriterijumi su eksplicitno prikazani, dok su ograničenja implicitno sadržana u „dopustivosti“ alternativa, jer sve alternative iz skupa A moraju zadovoljavati sva ograničenja ($g(x) \leq 0$ u klasičnoj optimizaciji). Dopustivost alternativa se testira prilikom njihovih „generisanja“. U novije vreme prilikom planiranja „velikih“ sistema traži se kompromisno rešenje u vidu „postojanog rešenja“, koje predstavlja kompromis između korišćenja i degradiranja izvora resursa, kao i između korišćenja resursa „za sada“ i „konzervacije za budućnost“. Osnovna odlika postojanog rešenja je da ono treba da bude fleksibilno radi ispunjavanja budućih zahteva. Predloženo rešenje (alternativa) ima veliku šansu da bude prihvaćeno kao dobar kompromis između različitih konfliktnih interesa ako je ono:

- prihvatljivo od većine u procesu odlučivanja
- nema tako loše kriterijumske pokazatelje zbog kojih bi „opponenti“ imali razloge da ga ne prihvate.

Ova dva uslova su pokrivena merama S i R u kompromisnom rangiranju jer se prema meri S određuje „najbolja“ alternativa koja zadovoljava „većinu“ (sumu) kriterijuma, dok se prema meri R određuje alternativa koja nije „izrazito loša“ prema nekom kriterijumu (minimizira se maksimalno „nezadovoljenje“ kriterijuma). Kada se prouči postojeći problem višekriterijumske optimizacije treba

dati opis i preciznu formulaciju problema, a zatim se prelazi na izvršavanje navedenih aktivnosti.

3.4. Metoda „VIKOR“

Metoda VIKOR za višekriterijumsko kompromisno rangiranje zahteva da su poznate vrednosti svih kriterijumskih funkcija za sve alternative u vidu matrice $|f_{i,j}|_{n \times j}$. U nastavku se prikazuju osnovni algoritamski koraci metode VIKOR [13]:

1. Idealna tačka se određuje iz vrednosti kriterijumskih funkcija pomoću sledeće relacije:

$$f_i^* = \text{ext}_j f_{ij}, i=1, \dots, n$$

Gde je *ext*- maksimum ako i-ta kriterijumska funkcija predstavlja korist ili dobit ili minimum za štete ili troškove

Idealnu tačku može da zada donosilac odluke tako što se „idealne“ vrednosti kriterijumskih funkcija zadaju putem praga iznad kojeg je vrednost zadovoljavajuća. Ako donosilac odluke zadaje idealnu tačku bez prethodnog određivanja dopustivih intervala vrednosti kriterijumskih funkcija, može nastupiti jedna od sledeće dve nepovoljne situacije u pogledu idealne tačke:

- Daleko je izvan dopustivog skupa, ili nema vezu sa dopustivim skupom čime se unosi subjektivni uticaj na kompromisno rešenje;
- Može biti u dopustivom skupu kriterijumskih funkcija, pa dobijeno kompromisno rešenje može biti inferiorno.

2. Često vrednosti kriterijumskih funkcija nisu izražene u istim jedinicama mere, odnosno postoje raznorodne kriterijumske funkcije (heterogeni kriterijumski prostor). Da bi se omogućilo kompromisno rangiranje uvodi se transformacija koja se postiže deljenjem sa dužinom opsega (dužinom intervala vrednosti) kriterijumske funkcije [13]. Dužina opsega i-te kriterijumske funkcije je $D_i = f_i^* - f_i^-$ gde svaki i-ti kriterijum f_i^* odgovara najboljoj alternativni sistema (ili odluci), a f_i^- najlošijoj. Za transformisanje kriterijumskih funkcija u bezdimenzionalne funkcije sa opsegom u intervalu [0, 1] ovde se koristi sledeća transformacija [14]:

$$d_{i,j} = T(f_i^* - f_{ij}) = |f_i^* - f_{ij}| / D_i, i=1, \dots, n, j=1, \dots, J$$

Uvode se pretpostavke: zavisnost između kriterijumske funkcije f_i i (opšte) koristi je linearna i postiže se zadovoljavanjem odgovarajućeg kriterijuma, opsezi kriterijumskih funkcija su uporedivi sa stanovišta postignute koristi, $D_i \cong D_j$, gde \cong označava indiferentnost donosioca odluke prema takvoj razmeri.

3. Težine kriterijuma $\omega_i, i=1, \dots, n$ reprezentuju preferenciju donosioca odluke.
4. Za određivanje kompromisne rang liste treba zadati vrednost težine u . Vrednost u zavisi prvenstveno od postupka donošenja konačne odluke: za odlučivanje „većinom glasova“ može se usvojiti $u=0.9$ ili $u=1.0$. Ako je u sistemu odlučivanja svaki kriterijum zastupljen jednim ili više

donosioca odluka i ako svaki ima pravo „veta“, tada veću težinu treba da ima „minmaks strategija odlučivanja“, i vrednost u treba da je $u < 0.5$, a u slučaju nezavisnih donosilaca odluka i bez sistema kompenzacije predlaže se i $u=0$. Vrednost u se zadaje u samom programskom paketu VIKOR [13].

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Kriterijumske funkcije i vrednovanje rešenja

Višekriterijumskom analizom treba izdvojiti rešenje iz datog skupa alternativa kojim će se postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda koristiti na najpovoljniji način u ekonomskom, tehničkom i društvenom smislu. Usvojeno je da se vrednovanje postizanja složenog cilja vrši na osnovu kriterijuma prikazanih u Tabeli 3.

Tabela 3. Kriterijumske funkcije

KRITERIJUMSKE FUNKCIJE	NAZIV	ALTERNATIVNA REŠENJA	
		SBR SISTEM	RBC SISTEM
f1	projektovani stepen prečišćavanja	80%	70%
f2	investicioni troškovi	4.040.000 EUR	3.740.000 EUR
f3	f3.1 rad i održavanje	171.200 EUR/god	97.000 EUR/god
	f3.2 bruto plata zapošljenih	5.000 EUR	3.000 EUR

4.2. Težine kriterijumskih funkcija

U ovom radu je usvojeno četiri kombinacije vrednosti težina kriterijumskih funkcija koje su definisane u prethodnom potpoglavlju i koje bi mogle da predstavljaju moguće strukture preferencije donosioca odluke.

Prva kombinacija vrednosti težina je sa jednakim vrednostima ω_1, ω_2 i $\omega_3=1$.

Druga kombinacija vrednosti težina je $\omega_1=3, \omega_2$ i $\omega_3=1$, gde je dat značaj projektovanom stepenu prečišćavanja.

Trećom kombinacijom težina kriterijuma je dat najveći značaj investicionim troškovima: $\omega_2=3, \omega_1$ i $\omega_3=1$.

Četvrta kombinacija je ujedno i najrealnija varijanta, gde je data prednost stepenu prečišćavanja i investicijama: $\omega_1=3, \omega_2=2$ i $\omega_3=1$.

4.3. Predlog konačnog rešenja

Sa aspekta kriterijuma projektovanog stepena prečišćavanja prednost ide SBR tehnologiji prečišćavanja otpadnih voda, a sa aspekta investicionih i eksploatacionih troškova u prednosti je RBC sistem koji je daleko jeftiniji od SBR sistema.

Međutim, sa aspekta najrealnijeg kriterijuma, u kojem se najveća prednost daje prečišćavanju, zatim investicijama i na kraju eksploatacionim troškovima, prednost ide SBR tehnologiji. Takođe, ovaj kriterijum bi trebalo da ima najveću preferenciju kod donosioca odluke, pa je zbog toga SBR sistem uzet kao najoptimalnije rešenje.

Za različite kombinacije težina kriterijuma, programskim paketom VIKOR, dobijeno je da se kao kompromisno rešenje predloži alternativa A1 – SBR sistem [14].

5. ZAKLJUČAK

Pristupi iz literature pokazuju da se po pravilu za izbor najadekvatnijeg rešenja, pre usvajanja nekog od mogućih, koriste kompleksne metodologije odlučivanja uz poštovanje brojnih kriterijuma. Jedna od tih metodologija je optimizacija sistema u građevinarstvu, koja je izuzetno kompleksan proces u kome se objedinjuju teorijska znanja i znanja stečena iskustvom u kome treba da se razmotre resursi, ciljevi i delovi sistema, kao i funkcionisanje i korišćenje samog sistema.

Optimizacija na osnovu tehničkog ili ekonomskog kriterijuma obuhvata samo jedan deo problema plasiranja sistema, a da bi se sa svih stanovišta razmotrio problem optimizacije potrebna su različita razmatranja kao što su inženjerska, ekološka, ekonomska, politička, zakonska i institucionalna, pa da se ona vrši na osnovu ovih komponenti, a traženje najboljeg rešenja u višekriterijumskom smislu jeste cilj višekriterijumske optimizacije. Dakle, analiza i izbor optimalnog rešenja u višekriterijumskom smislu daju odgovor na pitanje koji sistem je najpovoljniji.

Karakteristično za višekriterijumsku optimizaciju je da postoji cilj koji se modelira kriterijumima, a čiji značaj utvrđuje donosilac odluka tj. analitičar. U datoj fazi procesa odlučivanja formira se matrica odluka koja se podvrgava analizi i obradi da bi se iz nje generisao rezultat – težine kriterijumskih alternativa na osnovu kojih se vrši njihovo rangiranje.

Zaključuje se da se višekriterijumska analiza može uspešno primeniti u rešavanju problema izbora postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao što je prikazano na primeru koji je rešen metodom VIKOR, pri izboru između SBR i RBC sistema. Treba naglasiti da je moguće menjati kriterijume i njihov značaj, u zavisnosti od konkretnih uslova. Metoda VIKOR daje jasan uvid u fizičke karakteristike parametara, odnosno vrši transformaciju raznih kriterijumskih funkcija, koje sadrže podatke o karakteristikama razmatranih parametara u bezdimenzionalne funkcije. U metodi VIKOR donosilac odluke zadaje težine, pa one zapravo predstavljaju preferenciju donosioca odluke, a to za posledicu može imati unošenje subjektivnih ocena, koje mogu uticati na konačan rezultat, tj. optimalno rešenje.

Na osnovu rezultata na primeru je prikazano kako primena VIKOR metode može bitno da utiče na rentabilnost postrojenja, odnosno na minimizaciju vrednosti investicije u cilju povećanja profita i održivosti. Takođe je prikazano kako na bazi čitavog niza optimalnih rešenja može da se izabere ono koje je najracionalnije odnosno najviše odgovara preferencijama, kao što je odabran SBR sistem kao najoptimalnije rešenje, iako je RBC sistem daleko jeftiniji sa aspekta investicije i eksploatacije.

Optimizacija sistema je potrebna i neophodna pri izboru sistema prečišćavanja otpadnih voda kao jednog od značajnijih delova infrastrukture naselja čije je pravilno funkcionisanje važno radi održavanja optimalnih sanitarnih i ekoloških uslova [14].

LITERATURA

- [1] Cvetković Dragan: **Primena SBR sistema u prečišćavanju komunalnih otpadnih voda sa parametarskim modelom postrojenja.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, 43 (2011), str. 79 -87.
- [2] **Korišćenje i tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda u Republici Srbiji,** *Centralno-evropski forum za razvoj, CEDEF Pokrajinski Sekretarijat za urbanizam, graditeljstvo i zaštitu životne sredine APV,* Maj 2015.
- [3] Milićević Dragan: **Preporuke za projektovanje sistema za prečišćavanje otpadnih voda.** *Nauka+Praksa,* broj 23, str. 1-8, 2020.
- [4] Ilić Milica, Srđević Bojan: **Vrednovanje konstruisanih mokrih polja za prečišćavanje otpadnih voda manjih ruralnih naselja primenom analitičkog hijerarhijskog procesa.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, 52 (2020), str. 287-296.
- [5] **Idejno rešenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda naselja Bačka Topola na katastarskoj parceli 3262 k.o. Bačka Topola.** *Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih nauka Novi Sad,* Januar 2017.
- [6] Povrenović Dragan, Knežević Milena: **Osnovne tehnologije prečišćavanja otpadnih voda.** *Tehnološko – metalurški fakultet,* Beograd, 2013.
- [7] **Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini.** *Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju Novi Sad,* 2009.
- [8] Stanojević Miroslav, Karličić Nikola, Obradović Marko: **Elementi dimenzionisanja sekvencijalnih šaržnih reaktora (SBR) u sistemima prečišćavanja otpadnih voda.** *Procesna tehnika / Procesne tehnologije,* God. 32, Br.1 (2020), str. 22-26, 2020.
- [9] Cvetković Dragan, Šušteršić Vanja: **Uporedni pregled karakteristika rotacionih biodiskova i sekvencijalnih faznih reaktora za tretman komunalnih otpadnih voda,** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, 43 (2011), str. 249-257, 2011.
- [10] Blagojević Tatjana: **Otpadne vode kao ekološki problem.** *Fakultet tehničkih nauka,* Čačak, 2012.
- [11] **DWA - M 210 – Pravilnik Nemačkog udruženja za vodoprivredu, otpadne vode i otpad za dimenzionisanje sekvencijalnog šaržnog reaktora**
- [12] Dalmacija Božo, Agbaba Jasmina, Rončević Srđan: **Tehnologije zaštite voda.** *Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Prirodno-matematički fakultet,* Univerzitet u Novom Sadu.
- [13] Opricović Serafim: **Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu.** *Građevinski fakultet,* Beograd, 1998.
- [14] Nakov Katarina: **Master rad - Višekriterijumska optimizacija postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda.** *Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet,* Niš, 2022.

UPUTSTVO ZA FORMATIRANJE RADA (STYLE TITLE SERBIAN)

Ime prezime autora¹ (Style Author)

Ime prezime autora² (Style Author)

Rezime (Style Rezime Title)

Tekst rezimea (Style Rezime text)

Ključne reči (Style Key words +bold): *Ključna reč1, ključna reč2 (Style Key words +italic)*

NASLOV RADA NA ENGLESKOM (STYLE TITLE ENGLISH)

Abstract (Style Rezime Title)

Abstract text (Style Rezime text)

Key words (Style Key words +bold): *Key Word1, Key Word2 (Style Key words +italic)*

¹ Titula, zvanje, afilijacija, imejl adresa (Style Footnote)

² Titula, zvanje, afilijacija, imejl adresa (Style Footnote)

1. UVOD (STYLE HEADING 1)

Tekst rada (Style Text).

Hvala Vam što ste se odlučili da svoje istraživanje publikujete u časopisu Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta. Rad formatirati prema ovom uputstvu. Najlakši način za formatiranje Vašeg rada je korišćenjem ovog uputstva i upotrebom predefinisanih stilova (Style). Za svaki deo rada pripremljen je stil, koji treba aplicirati prilikom pisanja ili nakon kopiranja teksta rada u ovaj fajl. Apliciranje se vrši selekcijom teksta i odabirom jednog od stilova iz Home/Styles toolbar-a.

UDK broj biće upisan od strane urednika, nakon što rad bude prihvaćen za objavljivanje. Najpre dati naslov rada na srpskom jeziku. Zatim imena autora, bez titula, jedno ispod drugog. Titule, zvanja, afilijacije i imejl adrese svakog autora dati u fusnoti. Sledi rezime na srpskom jeziku. Reč „Rezime“ treba da bude u posebnom redu, a tekst rezimea pisati u narednom redu. Minimalna dužina rezimea treba da bude 100 reči, a maksimalna treba da bude tolika da ključne reči na engleskom jeziku ne pređu na sledeću stranu. Reči „Ključne reči:“ formatirane su drugačije od samih ključnih reči, ali se nalaze u istom paragrafu. Treba dati 4-6 ključnih reči. Nakon toga dati naslov rada, rezime i ključne reči na engleskom jeziku.

Minimalan broj strana rada je 6, a maksimalan 12, uključujući i stranu sa naslovom i rezimeima, kao i poslednju stranu na kojoj su date zahvalnosti i citirana literatura. Strane rada ne treba numerisati. Savetuje se korišćenje sledeće metodologije imenovanja naslova prvog reda: 1. Uvod, 2. Metodologija, 3. Rezultati, 4. Diskusija, 5. Zaključak. Predloženu metodologiju moguće je modifikovati u skladu sa tematikom i problemom koji rad obrađuje.

Rad obavezno mora da sadrži zaključak koji logično sledi na osnovu prethodno iznete diskusije o predmetu istraživanja. Radovi poslani za objavljivanje u časopisu Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta će najpre biti pregledani od strane uredništva, a nakon toga će radovi koji zadovoljavaju formalne kriterijume za objavljivanje biti recenzirani. Konačnu odluku o objavljivanju donosi urednik na osnovu recenzija. Radove slati na imejl adresu zbornikGAF@gaf.ni.ac.rs. Radove preko 15 MB slati putem online servisa (recimo wetransfer). Autori su odgovorni za tačnost podataka, obezbeđivanje autorskih prava citiranih i korišćenih dela i podataka, kao i za formatiranje rada prema ovom uputstvu.

2. NASLOV PRVOG REDA (STYLE HEADING 1)

Tekst rada.

2.1. Naslov drugog reda (Style Heading 2)

Tekst rada.

2.1.1. Naslov trećeg reda (Style Heading 3)

Tekst rada.

3. TABELE

Tabele numerisati i uz svaku tabelu dati naslov iznad tabele.

Tabela 1. Naslov tabele (Style Table Title)

Shading 5%				
	Text (Style Table text)			

Tekst.

4. SLIKE

Slike numerisati i dati naslov ispod slike. Za formatiranje slike koristiti Style Figure. Za formatiranje naslova slike koristiti Style Figure Title. Moguće je sliku smestiti i na posebnu stranu, ukoliko je to zbog njene veličine potrebno. Slike treba da budu dobrog kvaliteta sa min 300 dpi. Autori su dužni da obezbede prava na prikazivanje slike.



Slika 1. Naslov slike, izvor (Style Figure Title)

Tekst.

5. FUSNOTE

Fusnote izbegavati. Ukoliko je neophodno da postoje, fusnote treba postaviti na dno stranice, kako je to i ovde prikazano³.

6. FORMULE

Formule i jednačine treba da budu označene odgovarajućim brojevima u malim zagradama. dok se numerisanje navodi u malim zagradama pomerenom uz desnu marginu, kao u primeru:

$$\xi^2 = \sum_{i=1}^v \sqrt[3]{\frac{1}{\psi^2}} \quad (1)$$

Pozivanje na formulu u tekstu se vrši navođenjem broja formule u maloj zagradi (1).

³ Fusnota (Style Footnote)

7. NABRAJANJE

Nabrajanje se može vršiti na dva načina i to pomoću tačaka ili brojeva. Nabranje:

- Prvo
- Drugo
- Treće

Ili

1. Prvo
2. Drugo
3. Treće

8. CITIRANJE

Citiranje publikacija se vrši korišćenjem uglastih zagrada, prema redosledu navedenih dela. Literaturu na kraju rada dati istim redosledom kojim je i citirana. Formatiranje literature izvršiti prema datom uputstvu i primerima datim na kraju uputstva. Svako delo dato u popisu literature mora biti citirano u tekstu. Radovi bez citirane literature ne mogu biti objavljeni u ovom časopisu kao naučni radovi.

Data su uputstva za citiranje četiri najčešća tipa referenci: radovi u časopisima, radovi u zbornicima sa konferencija, knjige i internet.

Za radove u časopisima [1]: Prezime Ime, Prezime Ime: **Naslov rada (Bold)**. *Naziv časopisa (Italic)*, Vol. XX, No. XX, strana-strana, godina.

Za radove u zbornicima sa konferencija [2]: Prezime Ime, Prezime Ime: **Naslov rada (Bold)**. *Naziv konferencije (Italic)*, mesto održavanja, strana-strana, godina.

Za knjige/monografije/disertacije [3]: Prezime Ime, Prezime Ime: **Naslov (Bold)**. *Naziv izdavača (Italic)*, mesto izdavanja, godina.

Za internet izvore [4]: link (*datum posete*)

ZAHVALNOST

Autori mogu izraziti zahvalnost za pomoć ili finansiranje istraživanja u ovom delu, u suprotnom, ovaj podnaslov treba obrisati. Ovaj podnaslov i podnaslov „Literatura“ ne treba numerisati.

LITERATURA

- [1] Kostić Dragan, Vasov Miomir, Petković Nebojša: **Procena vrednosti nepokretnosti industrijskih kompleksa u stečajju**. *Nauka+Praksa*, Vol. 24, 54-65, 2021.
- [2] Gocić Milan, Trajković Slavisa: **Software for analyzing reference evapotranspiration using statistical parameters**. *International Conference PhIDAC 2011*, Novi Sad, 427-431, 2011.
- [3] Nikolić Marko, Brzaković Milan: **Metodologija projektovanja**. *Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu*, Niš, 2021.
- [4] <https://my.matterport.com/show/?m=6cMTGpBPZDh> (15.12.2022.)

LISTA RECENZENATA ČASOPISA ZBORNİK RADOVA GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKOG FAKULTETA ZA BROJ 37/2022.

- dr Aleksandra Đorđević, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu
dr Aleksandar Keković, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Aleksandra Marinković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš
dr Aleksandra Milovanović, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu
dr Anica Draganić, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu
dr Bojan Milošević, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu Univerziteta u Kragujevcu
dr Borislava Blagojević, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Dragan Milićević, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Dragan Radivojević, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Dušan Ranđelović, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Hristina Krstić, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Iva Despotović, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu Univerziteta u Kragujevcu
dr Jasna Guzijan, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci
dr Jelena Bijeljić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš
dr Jelena Đekić, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Ljiljana Jevremović, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Marija Stamenković, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici
dr Marina Trajković Milenković, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Marjan Mitić, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini sa privremenim sedištem u Kosovskoj Mitrovici
dr Marko Todorov, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu
dr Milica Marković, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Milica Živković, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Nenad Ristić, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu
dr Nenad Stojković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš
dr Nikola Velimirović, Državni univerzitet u Novom Pazaru
dr Petar Knežević, Državni univerzitet u Novom Pazaru
dr Vladimir Mandić, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu Univerziteta u Kragujevcu
dr Žana Topalović, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

624

**ZBORNİK radova Građevinsko-arhitektonskog
fakulteta** = Journal of the Faculty of Civil
Engineering

and Architecture / glavni i odgovorni urednik
Miomir

Vasov. - 2003, br. 19- . - Niš : Građevinsko-
arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, 2003-
(Niš : Grafika Galeb). - 24 cm

Godišnje. - Je nastavak: Zbornik radova
Građevinskog

fakulteta (Niš) = ISSN 0350-8587

ISSN 1452-2845 = Zbornik radova Građevinsko-
arhitektonskog fakulteta (Niš)

COBISS.SR-ID 126989324